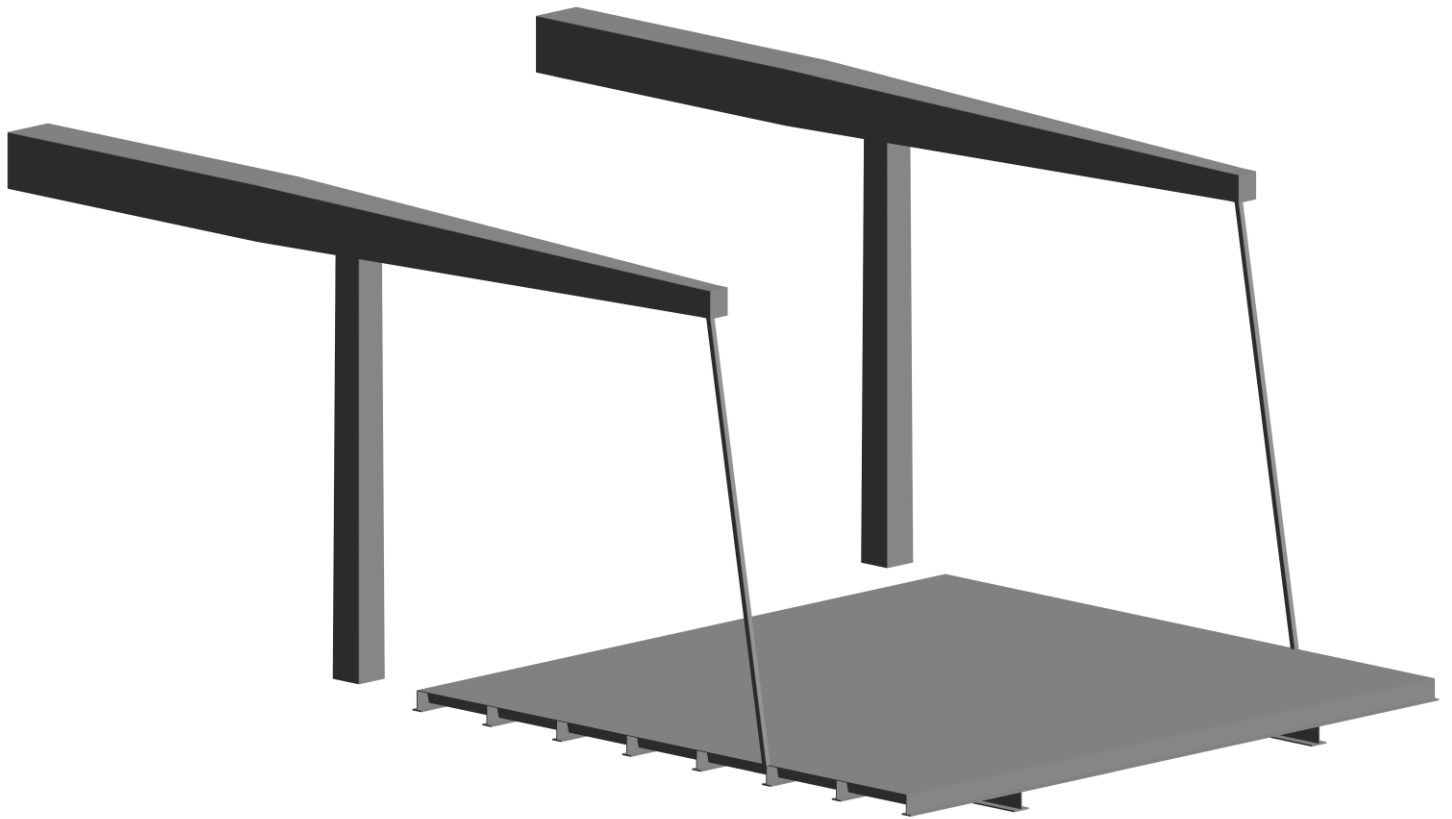




Hoofdverslag

Het programmatisch ontwerpen van ophaalbruggen

Versie 1.0 Definitief

Mohammed Haddouti

Frenk Petersen

29 mei 2018

Betrokken organisaties	Witteveen + Bos en de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
Afstudeerproject	Het programmatisch ontwerpen van ophaalbruggen

Document	Hoofdverslag
Status	Definitief
Datum	29 mei 2018

Auteur(s)	Mohammed Haddouti	558244	CT4CO
	Frenk Petersen	555446	CT4CO

Bedrijfsbegeleider	Wouter Lubberman
Afstudeerbegeleiders	Kees van der Zijden
	Dave Mateman

VOORWOORD

Voor u ligt het hoofdrapport van het afstudeeronderzoek 'Het programmatisch ontwerpen van ophaalbruggen.' Het onderzoek is geschreven door Mohammed Haddouti en Frenk Petersen en is uitgevoerd in samenwerking met Witteveen + Bos. Dit onderzoek is geschreven ter afronding van de HBO bachelor opleiding Civiele Techniek met afstudeerrichting constructie aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen. Van februari 2018 tot en met mei 2018 zijn wij bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van dit hoofdrapport alsmede de bijbehorende bijlagen.

Het onderwerp is tot stand gekomen in overleg met onze afstudeerbegeleider Wouter Lubberman en Wouter de Vries. Door het voeren van verschillende gesprekken zijn we op het idee gekomen om de bovenbouw van ophaalbruggen programmatisch te ontwerpen. Het idee hierbij is dat op basis van de benodigde functionele eisen direct een ontwerp gegenereerd kan worden door middel van het doorlopen van een aantal vastgestelde stappen. Hiermee moet het ontwerpproces sneller verlopen en met meer toegevoegde waarde.

Het onderzoek is uitgevoerd bij Witteveen + Bos in Deventer en dan specifiek bij de groep beweegbare bruggen. Witteveen+ Bos heeft ons zowel inhoudelijk als procesmatig ondersteund gedurende de afstudeerperiode. Daarom willen wij graag alle betrokkenen bij Witteveen + Bos bedanken voor de prettige samenwerking. Met in het bijzonder Wouter Lubberman die ons heeft begeleid gedurende het afstuderen en Wouter de Vries voor het aanbieden van een afstudeerplaats en zijn kennis waarvan wij regelmatig gebruik van hebben gemaakt.

Tot slot willen wij onze begeleiders vanuit de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen Kees van der Zijden als eerste begeleider en Dave Mateman als tweede begeleider bedanken. We hebben regelmatig met hun kunnen klankborden / afstemmen over de invulling van ons onderzoek.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Mohammed Haddouti & Frenk Petersen

Deventer, 25 mei 2018

SAMENVATTING

Nergens in de wereld staan zoveel ophaalbruggen per vierkante kilometer als in Nederland. Kenmerkend voor deze bruggen is dat ze allemaal als uniek object zijn ontworpen en gebouwd. Door deze afzonderlijke aanpak wordt bij elk project onnodig veel tijd en geld gestoken in dezelfde werkzaamheden.

Dit probleem wordt breed erkend door zowel opdrachtgevers, aannemers en ingenieurbureaus. Om deze redenen heeft de provincie Noord-Holland door het Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) een maatschappelijke kosten baten analyse laten uitvoeren naar een andere aanpak in het bouwen en ontwerpen van ophaalbruggen. Verschillende aspecten van het ontwerpen en bouwen van ophaalbruggen worden behandeld. Uit dit rapport blijkt dat erop meerdere manieren winst te behalen is, waarbij de onderbouwing van de besparingen ontbreekt.

Het onderwerp van het afstudeeronderzoek, is op basis van de gegevens die wel in het rapport van het EIB zijn gegeven, verder gespecificeerd. Om het gat van ontbrekende informatie uit het EIB rapport op te vullen is hierover een literatuuronderzoek uitgevoerd. Daarnaast is ook een workshop georganiseerd met de groep beweegbare bruggen binnen Witteveen + Bos om meer informatie over het onderwerp te verzamelen. De gegevens hiervan zijn geanalyseerd en op basis hiervan is de keuze gemaakt om dit onderzoek te richten op het ontwerpproces waarin getracht wordt het ontwerpproces sneller en goedkoper te laten verlopen zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit.

Om deze optimalisatie in het ontwerpproces te verwezenlijken is besloten om een programmatische aanpak te ontwikkelen voor het ontwerp van ophaalbruggen. Dit houdt in dat een ophaalbrug voortaan niet meer per project apart wordt ontworpen maar dat hiervoor één aanpasbaar ontwerp wordt opgesteld die op meerdere projecten kan worden toegepast.

De programmatische aanpak is ontwikkeld aan de hand van de belangrijkste eisen die het ontwerp van een ophaalbrug bepalen. Hiervoor zijn de eisen die betrekking hebben op het wegverkeer en de scheepvaart geanalyseerd en verwerkt in een Excel-bestand. Hierdoor is het mogelijk om de breedte en lengte van de ophaalbrug in te voeren op basis van de eisen en wensen van de opdrachtgever. Deze eisen en wensen zijn als belangrijkste invoerwaarden meegenomen in het ontwerp.

Aan de hand van de afmetingen die volgen uit de eisen en wensen is de programmatische aanpak verder uitgewerkt. Hiervoor is de ophaalbrug verdeeld in verschillende onderdelen. Per onderdeel is een Excel-bestand opgesteld waarin de globale krachtswerking is bepaald. Vanuit de krachtswerking zijn de profielen bepaald op basis van verschillende toetsingen zoals buiging, dwarskracht, plooi, knik en vervormingen.

De gegevens van de bepaalde profielen worden ingevoerd in een 3d Revit model. Hiervoor is voor elk onderdeel van de ophaalbrug een Revit family opgesteld op basis van de eerder benoemde eisen en profielen. Omdat het is niet mogelijk is om gegevens vanuit Excel te importeren in Revit is hiervoor een Dynamo script geschreven.

De winst is aangetoond doormiddel van een opgestelde planning, voor het uitvoeren van de programmatische aanpak, te vergelijken met een opgestelde planning van een voorontwerp volgens de huidige methode. De conclusie hiervan is dat er op deze manier maar liefst 80% bespaart kan worden op het maken van een voorontwerp.

In de besparing van 80% is zijn de benodigde investeringskosten voor het ontwikkelen van de programmatische aanpak niet meegenomen. Om dit mee te nemen in het totale kostenplaatje is voor de ontwikkeling ook een planning opgesteld. Uit de planning blijkt dat de ontwikkeling ervan 15 weken in beslag heeft genomen. Op basis van deze gegevens blijkt dat naar vier projecten de kosten voor de ontwikkeling eruit zijn gehaald.

SUMMARY

There is no place in the world with more drawbridges than in the Netherlands. What's striking about these bridges is they're designed and built as a stand-alone entity. This isolated approach causes for each project to require unnecessary time and money to perform the same kind of work.

This problem is widely recognized by clients, contractors and engineering firms. Because of this, the province of Noord-Holland got the Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) to make a social costs & benefits analysis regarding another approach for building and designing drawbridges. This report covers different aspects of designing and building of drawbridges. It concludes that there is a lot of potential for profit, with the elaboration on these savings missing.

The subject of this thesis is based on the information that has been made available in the analysis of EIB, further specified. A literature review has been done in order to fill the gap of missing information from the report. In addition, a workshop was organized with the group Movable Bridges within Witteveen + Bos in order to gather more information regarding the subject. The information of this workshop has been analysed and based on this the choice has been made to focus this research on the design process of drawbridges, attempting to make this process go quicker and cheaper without resulting in a loss of quality.

In order to make this optimization in the design process a reality has been decided to develop a programmatic approach for the design of drawbridges. This means that a drawbridge from now on isn't designed separately. Instead it's designed in a way where only one flexible design that is applicable to multiple projects is made.

The programmatic approach is developed based on the most important conditions that make up the design of a drawbridge. These conditions are related to traffic and shipping. They are analysed and processed in an Excel sheet. This makes it possible to base the length and the width of the drawbridge off the conditions and wishes of the client. These conditions and wishes are the most important input values for the design of the drawbridge.

Based on the dimensions that result from the specified conditions and wishes, the programmatic approach has been processed further. In order to accomplish this the drawbridge has been divided into different parts. Each part has an Excel sheet which determines the general applied forces for the relevant part. These forces are then used in order to determine the dimensions of the cross-section for each part of the drawbridge based on multiple tests like bending, shear force, buckling and deformation.

The calculated cross-sections are used as input in a 3d Revit model. Each part of the drawbridge has a Revit Family designed based on the previously mentioned conditions and cross-sections. Because it isn't possible to read information from Excel to Revit directly, a Dynamo script has been written in order to accomplish this.

The benefits of the programmatic approach is shown by means of a set up plan for making use of the programmatic approach. This plan is compared to a plan of a preliminary draft designed using the current approach. The conclusion of this comparison shows that it's possible to save 80% of the costs for designing a preliminary draft using this method.

The savings of 80% does not include the required investment costs in order to develop the programmatic approach. A plan for the development has also been made in order to take this into account. According to this plan the development of the programmatic approach took 15 weeks to finish. Comparing this plan with the yields for each preliminary draft shows the programmatic approach starts to be profitable after 4 projects.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING

SUMMARY

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Afbakening	1
1.3	Probleemstelling	1
1.4	Doelstelling	2
1.5	Onderzoeksvragen	2
1.6	Leeswijzer	3
2	ONDERZOEKSOPZET	4
2.1	Literatuurfase	5
2.2	Onderzoeksfase	5
2.3	Conclusiefase	6
3	THEORETISCH KADER	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Onderzoek EIB	7
4	PRINCIPE PROGRAMMATISCH ONTWERP	10
5	RANDVOORWAARDEN EN EISEN PROGRAMMATISCHE AANPAK	12
5.1	Objecten en functies	12
5.2	Wegontwerp	13
5.3	Scheepvaart	15
5.4	Opbouw eisen-gestuurd ontwerp	19
5.5	Randvoorwaarden ophaalbruggen	20

5.6	Belastingen	22
6	WERKWIJZE PROGRAMMATISCHE AANPAK	23
6.1	Het val	23
6.2	Balanspriem	27
6.3	Hameistijl	28
6.4	Hangstang	29
7	HET GENEREREN VAN EEN PROGRAMMATISCH ONTWERP	30
7.1	Parallellogram	30
7.2	Revit Families	31
7.3	Opbouw van het model	32
8	KOSTENEFFECTIVITEIT	34
8.1	Definitie kosteneffectiviteit	34
8.2	Initiële investering	34
8.3	Kosten programmatische aanpak	34
8.4	Kosten huidige methode	35
8.5	Vergelijking in kosten	35
8.6	Kwaliteit programmatische aanpak	35
9	CONCLUSIE	38
9.1	Hoofdvraag	38
9.2	Antwoord op de hoofdvraag	38
9.3	Aanbevelingen	38
10	BIBLIOGRAFIE	40
11	BIJLAGE	41
1.	Literatuurstudie Kosteneffectiviteit	
2.	Literatuurstudie Programmatische aanpak	
3.	Literatuurstudie Ophaalbruggen	
4.	Toelichting programmatische aanpak	
5.	Werkwijze programmatische aanpak – Het val	
6.	Werkwijze programmatische aanpak – Overige onderdelen	

7. Stappenplan programmatische aanpak
8. Dynamo script
9. Planning opbouw programmatische aanpak
10. Planning toepassing programmatische aanpak
11. Planning toepassing huidige methode
12. Planning vergelijking tussen programmatisch en huidig

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

In november 2017 is door het Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) een onderzoek gepubliceerd genaamd 'Bouwstenen voor beweegbare bruggen; verkenning maatschappelijke kosten en baten'. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de provincie Noord-Holland omdat de provincie kansen ziet in het bouwen van beweegbare bruggen op basis van meer prefabricage, standaardisatie en flexibeler bouwen en beheren.

De aanleiding is de grote opgave om in de komende decennia vele bruggen vervangen moeten worden. De reden hiervoor is dat veel bruggen verouderd zijn, in slechte staat zijn of ze voldoen niet meer aan de functionele eisen. Hierdoor komt de beschikbaarheid van de bruggen en bereikbaarheid van de omgeving onder druk te staan.

1.2 Afbakening

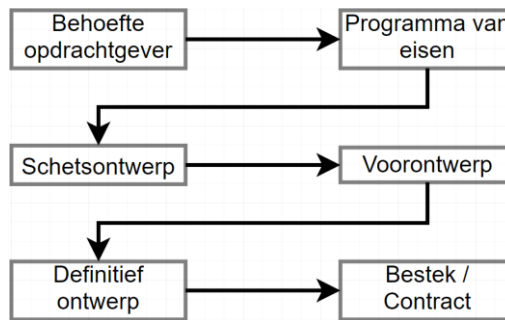
In het onderzoek van het EIB worden meerdere facetten van het ontwerpen, bouwen en onderhouden van beweegbare bruggen beschouwd. Vanwege de beperkte tijd zal in dit onderzoek niet alles behandeld kunnen worden. Het onderzoek richt zich op het ontwerpproces van de bovenbouw van ophaalbruggen. Het bouw- en onderhoudsproces is buiten de scope gelaten. De onderbouwing van deze afbakening is per onderdeel in het rapport toegelicht.

1.3 Probleemstelling

Vanwege de grote vervangingsopgave, zoals in paragraaf 1.1 benoemd, komen de beschikbare budgetten en de capaciteit van de opdrachtgevers onder druk te staan. Het probleem met de huidige methode van het ontwerpen en bouwen van bruggen is dat veelal naar unieke oplossingen gezocht wordt. Waarbij bruggen worden gebouwd en ontworpen door een andere combinatie van opdrachtgever, ingenieursbureau, aannemer en onderaannemers. Hierbij wordt bij elk project opnieuw begonnen, iets wat onnodig veel tijd en geld kost.

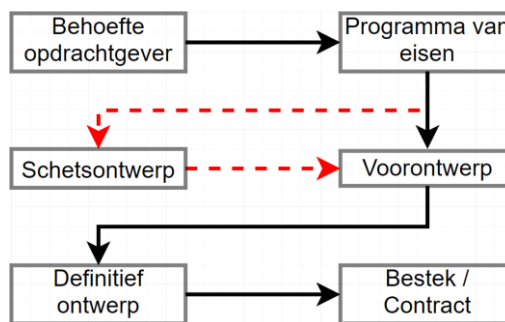
Probleemstelling: Ophaalbruggen worden telkens weer op zichzelf ontworpen. Waarbij elk project wordt begonnen vanaf een blank canvas. Hierdoor gaat onnodig veel tijd en geld verloren.

Het ontwerpproces doorloopt veelal dezelfde stappen, zoals is weergegeven in figuur 1. Bij elke stap moet alle informatie worden afgestemd met verschillende betrokken personen en partijen zowel intern als extern. Tijdens het afstemmen worden doorgaans de meeste fouten gemaakt omdat de informatie bijvoorbeeld verkeerd wordt geïnterpreteerd of omdat de informatie niet volledig is.



Figuur 1 Het ontwerpproces (Petersen, 2018)

Als het mogelijk wordt om vanaf de eisen direct een voorontwerp op te stellen, zoals in Figuur 2 hieronder is weergegeven wordt gedurende het ontwerpproces één stap uitgespaard. Wanneer het aantal stappen in het ontwerpproces verminderd wordt, zal dit resulteren in een efficiënter ontwerpproces. Waarbij informatie beter kan worden gedeeld doordat het detailniveau vanaf het begin van een hoger niveau is. Daarbij wordt het ook mogelijk om het ontwerp eenvoudig aan te passen wanneer de eisen veranderen.



Figuur 2 Aangepast ontwerpproces (Petersen, 2018)

1.4 Doelstelling

Het specifieke doel van dit onderzoek is om ophaalbruggen op een dusdanige manier te ontwerpen dat het mogelijk wordt om vanaf de eisen direct tot een voorontwerp te komen. Dit zal gerealiseerd worden door een deel van het ontwerpproces te automatiseren, dit wordt een programmatische aanpak of een programmatisch ontwerp genoemd. Deze nieuwe programmatische aanpak zal moeten resulteren in een efficiënter ontwerpproces ten opzichte van de huidige standaard voor het voorontwerp. De efficiëntie zal worden aangetoond door middel van de kosteneffectiviteit.

Doel 1: Het ontwikkelen van een programmatisch ontwerp voor ophaalbruggen, waarbij het mogelijk is om op basis van de eisen een voorontwerp te generen,

Doel 2: De programmatische aanpak zal moeten resulteren tot een hogere kosteneffectiviteit. Waarbij kosteneffectiviteit een verhouding is tussen prijs en kwaliteit.

1.5 Onderzoeksvragen

In deze paragraaf is op basis van de probleemstelling en doelstelling een hoofdvraag geformuleerd. Op basis van deze hoofdvraag zijn een aantal deelvragen opgesteld om het onderzoek meer structuur te geven.

1.5.1 Hoofdvraag

De hoofdvraag van het onderzoek is als volgt geformuleerd:

"Hoe kan een programmatische aanpak van het ontwerp van ophaalbruggen ontwikkeld worden, en in welke mate leidt dit tot een verbeterde kosteneffectiviteit ten opzichte van de huidige standaard voor het voorontwerp?"

1.5.2 Deelvragen

Voor het beantwoorden van de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

Deelvraag 1:

"Welke randvoorwaarden en eisen zijn bepalend voor het ontwerp van een ophaalbrug en hoe worden deze meegenomen in de programmatische aanpak?"

Deelvraag 2:

"Wat is de werking van de programmatische aanpak voor ophaalbruggen en hoe is deze opgesteld?"

Deelvraag 3:

"hoe kan de kosteneffectiviteit van het ontwerpproces voor ophaalbruggen aantoonbaar worden verbeterd?"

Deelvraag 4:

"Wat is het resultaat van de programmatische aanpak?"

Deelvraag 5:

"In welke mate heeft de programmatische aanpak voor ophaalbruggen geresulteerd in een verbeterde kosteneffectiviteit?"

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk twee is de onderzoeksopzet beschouwd waarin is uitgelegd hoe het onderzoek is aangepakt. Voordat het hoofdonderzoek is gestart om de hoofdvraag te beantwoorden is in hoofdstuk drie eerst verder onderzoek gedaan naar het EIB rapport. Met als doel om daar zoveel mogelijk informatie uit te halen met betrekking tot de besparingsmogelijkheden voor het ontwerpen van ophaalbruggen.

Om meer inzicht te geven in het programmatisch ontwerp is in hoofdstuk vier eerst het principe toegelicht. In hoofdstuk vijf is een onderzoek uitgevoerd naar de belangrijkste eisen en randvoorwaarden van ophaalbruggen. Deze eisen en randvoorwaarden gelden als belangrijkste invoerwaarden voor de programmatische aanpak die in hoofdstuk zes is beschouwd. Aan de hand van de eisen en randvoorwaarden is het programmatisch ontwerp per module opgesteld.

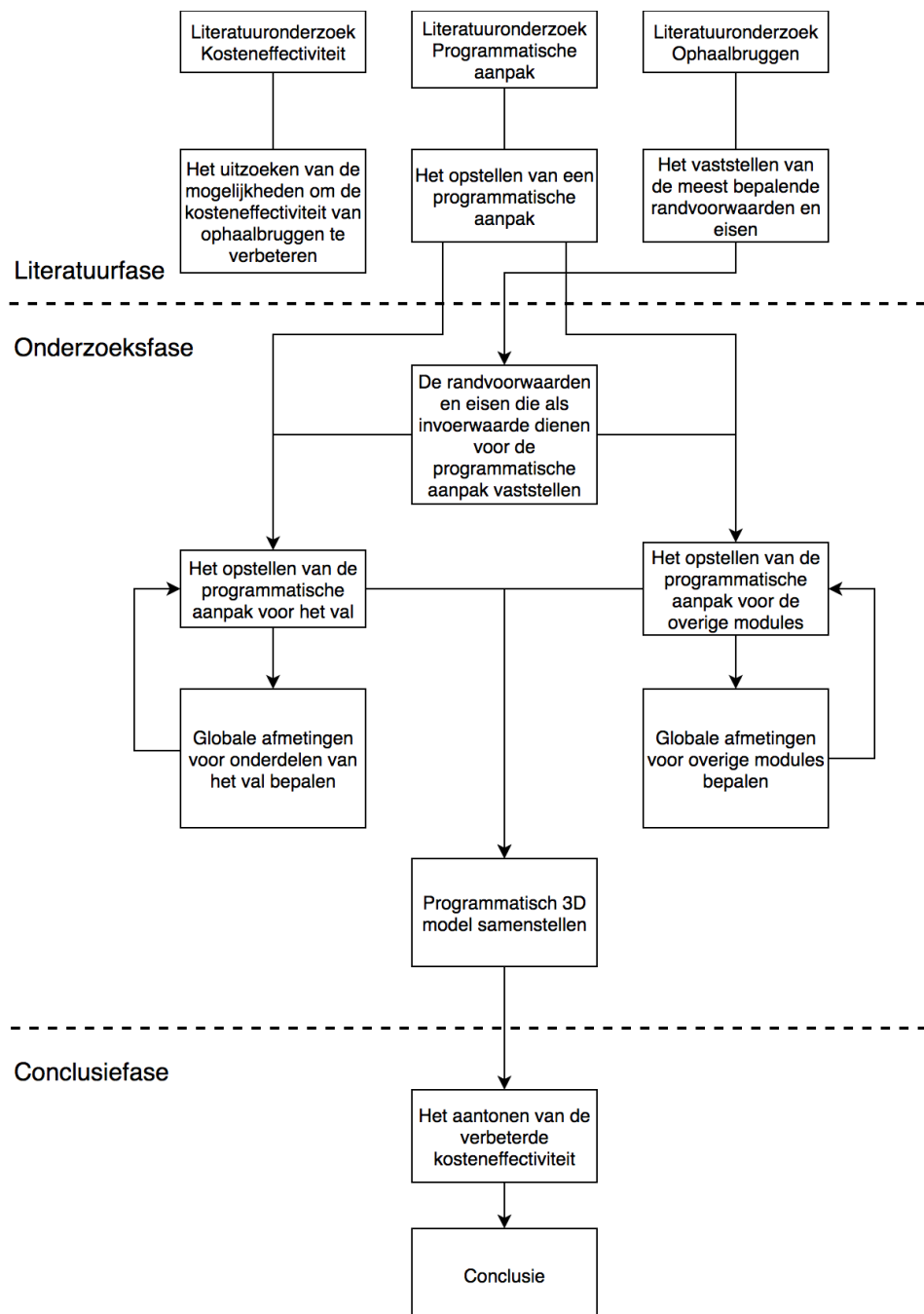
De verschillende modules zijn in hoofdstuk zeven aan elkaar gekoppeld om tot één programmatisch ontwerp van een ophaalbrug te komen.

Nadat het programmatisch ontwerp is uitgewerkt is deze in hoofdstuk geanalyseerd aan de hand van de kosteneffectiviteit. In dit hoofdstuk is de nieuwe programmatische aanpak vergeleken met de huidige aanpak. Hierbij is ook de investering voor het ontwikkelen van de programmatische aanpak meegenomen. Op basis van deze gegevens is in hoofdstuk negen teruggeblikt op de probleemstelling en doelstelling in de vorm van een conclusie.

2

ONDERZOEKSOPZET

Het onderzoek is verdeeld in drie verschillende fases: de literatuurfase, de onderzoeksfase en de conclusiefase. In figuur 3 is het onderzoeksmodel weergegeven waarin onderscheid is gemaakt tussen de verschillende fases.



Figuur 3 Onderzoeksmodel (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

2.1 Literatuurfase

In de literatuurfase zijn drie verschillende literatuuronderzoeken uitgevoerd om informatie te verzamelen die nodig is voor het uitvoeren van het onderzoek;

- 1 Kosteneffectiviteit
- 2 Programmatische aanpak
- 3 Ophaalbruggen algemeen

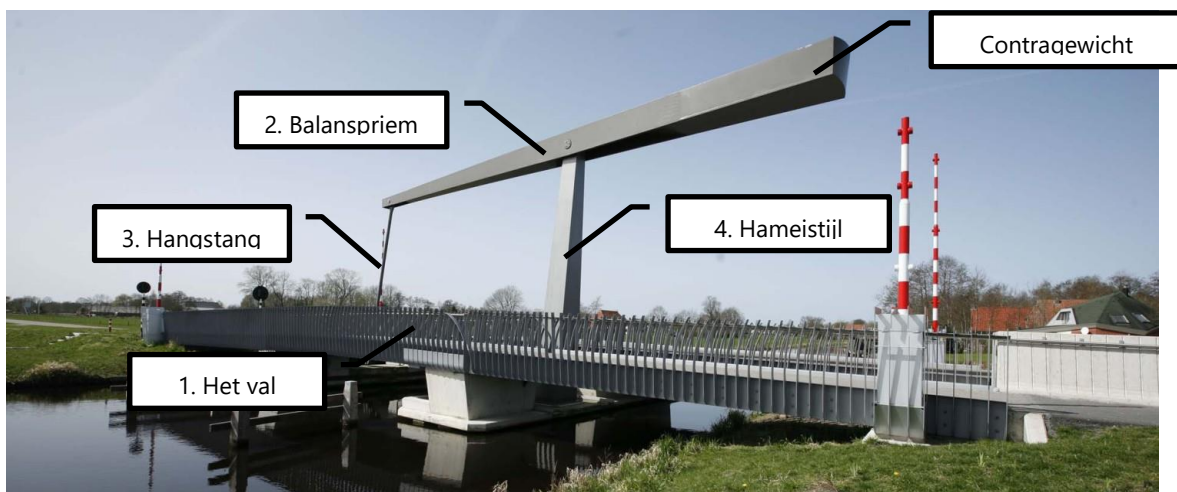
In de eerste literatuurstudie is dieper ingegaan op de kosteneffectiviteit, wat dit betekent en op welke manieren dit verbeterd kan worden. De tweede literatuurstudie gaat over de programmatische aanpak, hierin is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van deze nieuwe aanpak. Tot slot is in de derde literatuurstudie een onderzoek gedaan naar ophaalbruggen in het algemeen waarin onderzocht is wat de randvoorwaarden en eisen zijn voor dit type brug.

Omdat de scope afbakening na de literatuurstudie is vastgesteld, zijn de facetten ontwerpen, bouwen en onderhouden van ophaalbruggen beschouwd. Dit is gedaan op basis van de resultaten van de eerste literatuurstudie over de kosteneffectiviteit, dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 3.

2.2 Onderzoeksfase

In de onderzoeksfase zijn eerst alle randvoorwaarden en eisen vastgesteld die als invoerwaarde zijn meegenomen in het opzetten van de programmatische aanpak. Vervolgens is de ophaalbrug verdeeld in vier verschillende hoofd onderdelen.

1. Het val (bestaand uit hoofdliggers, dwarsdragers en een dekplaat met langsverstijvingen (troggen))
2. De Balanspriem inclusief het contragewicht
3. De hangstang
4. De hameistijl



Figuur 4 De hoofdonderdelen van een ophaalbrug (ipv Delft, 2010) bewerkt door (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Voor elke module (val, hangstang, balanspriem en hameistijl) is apart een programmatische aanpak opgesteld. Hiervoor is het noodzakelijk om de randvoorwaarden en eisen goed inzichtelijk te hebben. Zodat aan elke module afzonderlijk gewerkt kan worden, zonder dat dit problemen geeft bij het samenvoegen van de modules in het 3d model. De afmetingen van de modules zijn gecontroleerd op basis van hoofdspansingen en enkele constructieve toetsingen waarbij gebruik is gemaakt van de Eurocode.

De laatste stap van de onderzoeksfase is het samenvoegen van de verschillende modules tot één ontwerp. het ontwerp is opgebouwd in Revit als 3D model. De invoerwaarden voor dit model komen uit de verschillende modules. Al deze onderdelen uit de onderzoeksfase zijn met elkaar verbonden waardoor het mogelijk is om op basis van de eisen tot een voorontwerp te komen.

2.3 Conclusiefase

In de conclusiefase is met name de kosteneffectiviteit aantoonbaar gemaakt. De versnelling van de ontwerpfase door het toepassen van de programmatische aanpak is aangetoond door middel van het opstellen van een planning. Deze planning is vervolgens vergeleken met een planning die gebaseerd is op de huidige werkwijze voor het voorontwerp bij Witteveen + Bos. Waardoor het inzichtelijk is geworden hoeveel tijd er bespaart is. In deze fase is ook de investering voor het opstellen van de programmatische aanpak meegenomen, op deze manier is het duidelijk gemaakt naar hoeveel projecten winst gemaakt kan worden. De kwaliteit is aangetoond doormiddel van het vergelijken van het detailniveau van de programmatische aanpak met dat van een traditioneel voorontwerp. Ook zal het aantal fouten worden gereduceerd, echter is dit niet gekwantificeerd.

THEORETISCH KADER

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is dieper ingegaan op het rapport dat is opgesteld door het Economisch Instituut voor de Bouw (EIB) in opdracht van de provincie Noord-Holland. Doordat dit rapport recent is gepubliceerd, november 2017, toont dit tegelijk de relevantie van dit onderzoek aan.

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven is na het uitvoeren van de eerste literatuurstudie een keuze gemaakt om enkel het ontwerpproces te beschouwen in het onderzoek. In dit hoofdstuk is deze keuze gemotiveerd aan de hand van de belangrijkste conclusies uit het EIB rapport aangevuld met informatie van experts van Witteveen + Bos. De volledige informatie over het EIB rapport is te vinden in bijlage 1 'Literatuurstudie; Kosteneffectiviteit'.

3.2 Onderzoek EIB

Het EIB heeft het onderzoek uitgevoerd op basis van de volgende vier principes: prefabricage, standaardisatie, modularisering en herbruikbaarheid. Met als doel om eventuele winsten te kunnen aantonen. De effecten van deze principes op de engineering, bouw en onderhoudskosten, zijn bepaald op basis van interviews met een groot aantal vertegenwoordigers van organisaties die betrokken zijn bij dit onderwerp, zoals: opdrachtgevers, marktpartijen en kennisinstellingen. Het EIB heeft het rapport uitgevoerd met behulp van een referentieproject namelijk de Stolper ophaalbrug. Het referentie project is gelegen in de provincie Noord-Holland en het betreft een ophaalbrug gelegen in een erftoegangsweg buiten de bebouwde kom met twee rijstroken en een naastgelegen fietspad.

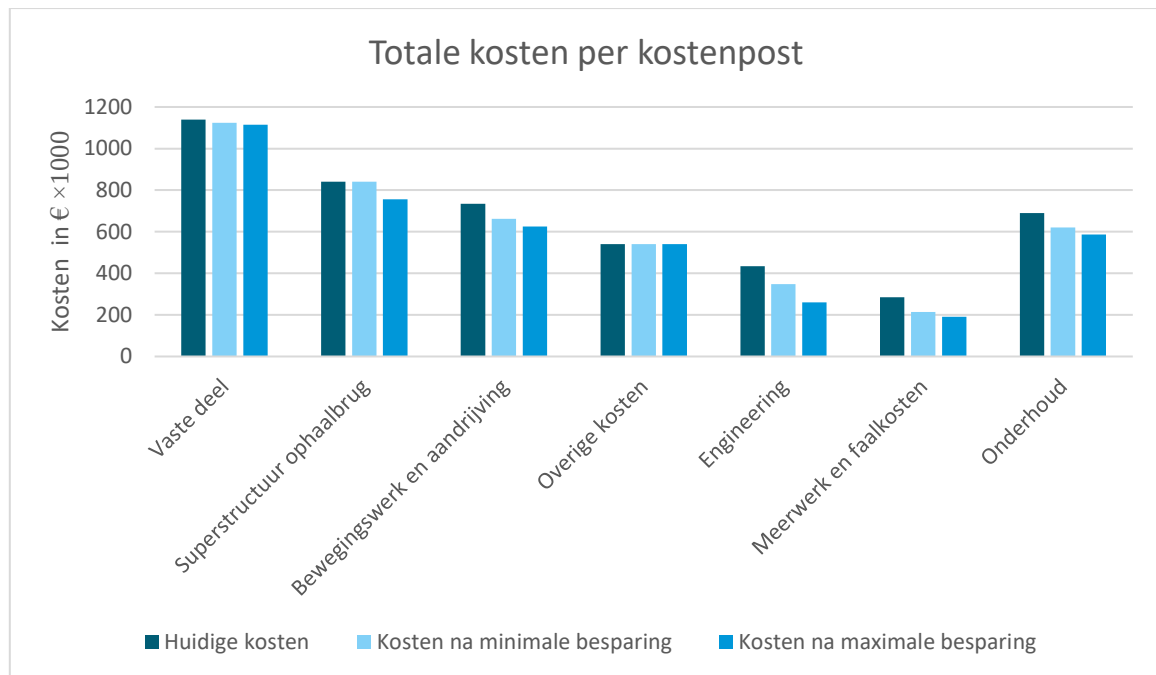
De besparingen zijn gecategoriseerd in de volgende zeven verschillende kostenposten.

1. Het vaste deel (Onderbouw)
2. Superstructuur ophaalbrug (Bovenbouw)
3. Bewegingswerk en aandrijving
4. Overige bouwkosten
5. Engineering
6. Meerwerk en faalkosten
7. Onderhoud

In het EIB rapport zijn de kosten uitgedrukt in een jaarlijkse annuïteit, op deze manier kunnen onderdelen met een verschillende levensduur en onderhoud wat een meerjarige kostenpost is met elkaar vergeleken worden. Om een duidelijk overzicht te geven van de totale kosten zijn in de grafieken 1 en 2 de annuïteitskosten omgerekend naar de totale kosten, hoe dit precies is gedaan wordt verder uitgelegd in de eerste literatuurstudie.

De totale kosten per kostenpost zijn weergegeven in Grafiek 1. In deze grafiek zijn telkens in de eerste kolom de kosten weergegeven van het referentieproject. De totale kosten van het referentie project bedraagt ongeveer 4,66 miljoen euro. Bij de besparingen wordt uitgegaan van een minimale en een maximale variant. Dit is gedaan vanwege het feit dat een nieuwe aanpak niet gelijk volledig ingevoerd kan worden, het kost namelijk tijd om dit te ontwikkelen. Om deze ontwikkeling mee te nemen in het onderzoek is het EIB uitgegaan van een minimum variant en maximum variant. In kolom 2 van grafiek 1 zijn de kosten weergegeven na de minimale besparing, waarbij de totale kosten uitkomen op 4,35 miljoen euro een

besparing van ongeveer 7%. En in kolom 3 van grafiek 1 zijn de kosten weergegeven na de maximale besparing, waarbij de totale kosten uitkomen op 4,07 miljoen euro.

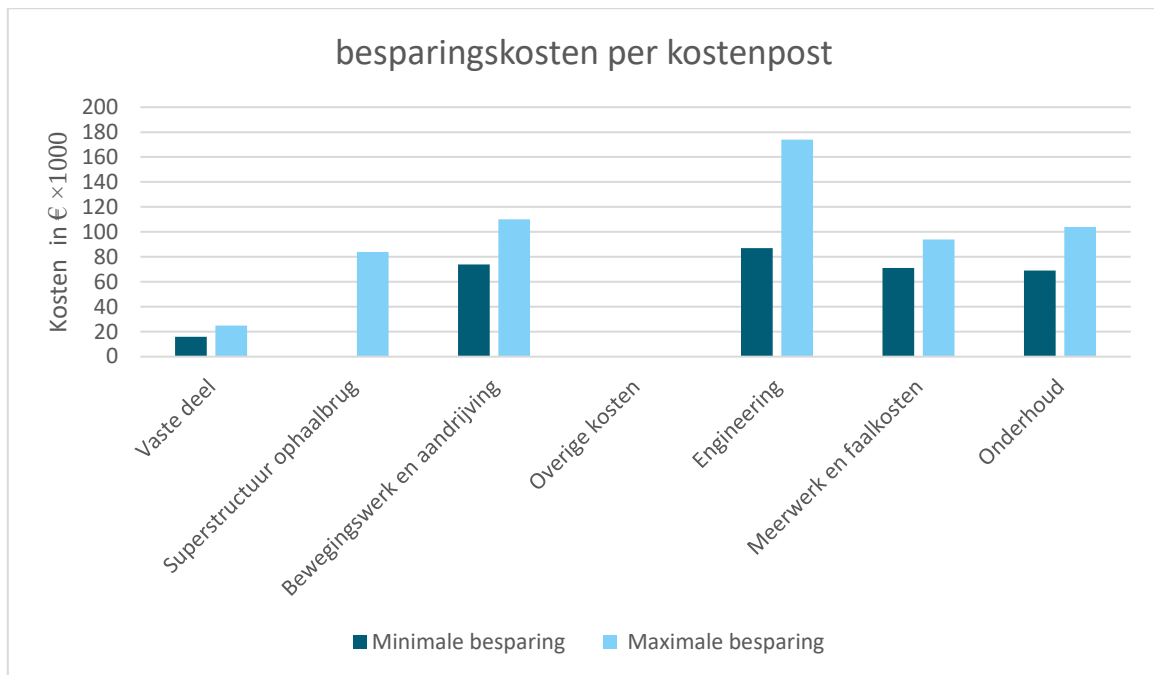


Grafiek 1 Totale kosten per kostenpost (Economisch Instituut voor de Bouw, 2017) bewerkt door (Petersen, 2018)

Om meer inzicht te geven hoe groot de besparingen per kostenpost zijn in Grafiek 2 de besparingskosten per kostenpost weergegeven. Hieruit valt op te maken dat de meeste winst volgens het onderzoek van het EIB te behalen is bij de engineeringkosten.

In het EIB rapport wordt naast de vier eerder genoemde basisprincipes niet verder gespecificeerd waar en hoe de besparingen te behalen zijn. Voor de engineeringkosten is enkel benoemd dat de besparingen het gevolg zijn van een meer gestroomlijnd proces op basis van een gestandaardiseerd globaal ontwerp. Hoe het globale ontwerp precies eruit hoort te zien is niet verder gespecificeerd. Voor ons onderzoek is juist dit aspect uitermate interessant, dit willen wij proberen concreet te maken.

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek is geprobeerd om in contact te komen met het EIB om hierover eventueel meer informatie te vervaardigen. Echter heeft dit niet geleid tot meer informatie over de besparingen.



Grafiek 2 Besparingskosten per kostenpost (Economisch Instituut voor de Bouw, 2017) bewerkt door (Petersen, 2018)

De engineeringfase heeft een grote invloed op de andere kostenposten. Zo is door het EIB gesteld dat de meerwerk en faalkosten afhankelijk zijn van de engineeringfase. Zo zijn de meerwerk en faalkosten vaak het gevolg van verkeerde beslissingen in de engineeringfase. Waarbij niet op tijd de juiste mensen bij het project betrokken worden. Of dat belangrijke informatie niet tijdig of onvolledig gedeeld wordt met andere belanghebbenden.

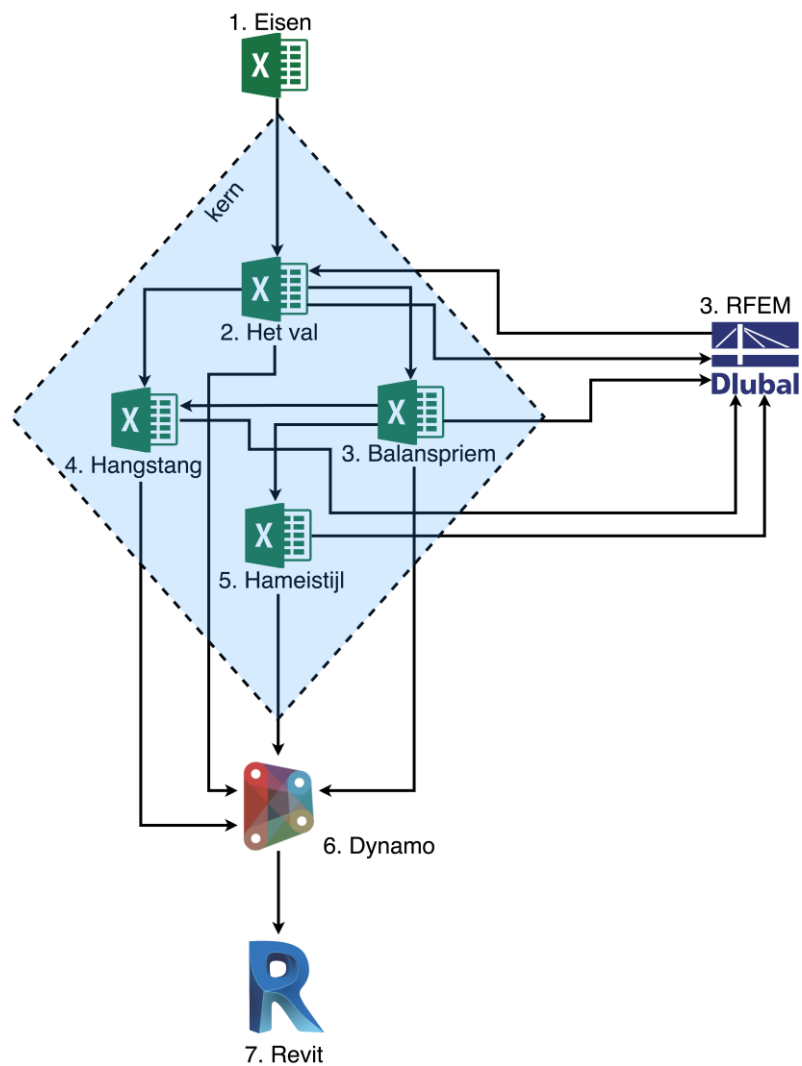
Daarnaast zijn de besparingen bij de superstructuur ophaalbrug en het bewegingswerk en aandrijving voornamelijk te behalen door standaardisatie en prefabricage. Om standaardisatie door te voeren zal dus eerst een standaard ontwerp moeten worden opgesteld. Waardoor deze besparingen eigenlijk ook afhankelijk zijn van het ontwerp in de engineeringfase.

Er kan geconcludeerd worden dat door het ontwikkelen van een globaal en gestandaardiseerd ontwerp de basis vormt voor de besparingen van vier van de zeven kostenposten. Om deze reden is besloten dit onderzoek te richten op het ontwikkelen van een programmatisch ontwerp / aanpak voor ophaalbruggen. Waarbij het programmatisch ontwerp gezien kan worden als een globaal, gestandaardiseerd ontwerp zoals het in het EIB rapport genoemd wordt.

4

PRINCIPE PROGRAMMATISCH ONTWERP

Om meer inzicht te geven in het programmatisch ontwerp is in dit hoofdstuk eerst het principe uitgelegd. Zoals eerder al is beschreven is één van de doelstellingen van dit onderzoek: het ontwikkelen van een programmatisch ontwerp waarbij het mogelijk is om op basis van de eisen een voorontwerp te genereren. In figuur 5 is het principe van het programmatisch ontwerp visueel weergegeven.



Figuur 5 Principe van het programmatisch ontwerp (Petersen, 2018)

1. De programmatische aanpak werkt door middel van het invoeren van de eisen in een Excel sheet. Het invullen van de eisen gebeurt eventueel in overleg samen met de klant.
2. Deze gegevens zijn vervolgens gekoppeld aan het Excelbestand dat het val verder gaat specificeren. De geometrie van het val wordt constructief getoetst met behulp van een RFEM model en berekening.
3. De informatie die gegenereerd is bij het val wordt gebruikt in het Excelbestand voor de balanspriem waarmee deze verder wordt gespecificeerd.
4. Vervolgens wordt de hangstang gespecificeerd. Het Excel bestand voor de hangstang haalt zijn informatie uit de Excelbestanden van het val en de balanspriem.
5. Als laatste wordt de hameistijl gespecificeerd. Het Excelbestand voor de hameistijl haalt zijn benodigde informatie uit het Excelbestand van de balanspriem.

De afmetingen van elke module zijn afzonderlijk in het desbetreffende Excelbestand getoetst op basis van verschillende constructieve toetsingen. Welke toetsingen dat zijn is opgenomen in hoofdstuk 5. Aan de hand van de Excelgegevens is een Revit model opgesteld. Omdat het niet mogelijk is om een Excel-bestand direct te koppelen aan Revit is hiervoor gebruikgemaakt van Dynamo, een ingebouwde plug-in van Revit. Met behulp van een dynamo script, ook wel visueel programmeren genoemd, is het 3d model van Revit aangestuurd door de verschillende Excelbestanden van de verschillende modules.

Door het doorlopen van deze stappen is het dus mogelijk om volgens dit vast stappenplan een voorontwerp te maken op basis van de gestelde eisen. Het opstellen van de eisen is beschouwd in hoofdstuk 5. De kern is verder toegelicht in hoofdstuk 6 en het resultaat van het Revit is in hoofdstuk 7 behandeld. De gehele stappenplan is toegelicht in bijlage 7. Verder is van het hele proces een [video](#) gemaakt wat te bekijken is met de volgende QR code:



Indien de link niet werkt heeft het waarschijnlijk te maken met de netwerk beveiligingsinstellingen omdat de video op Google Drive staat.

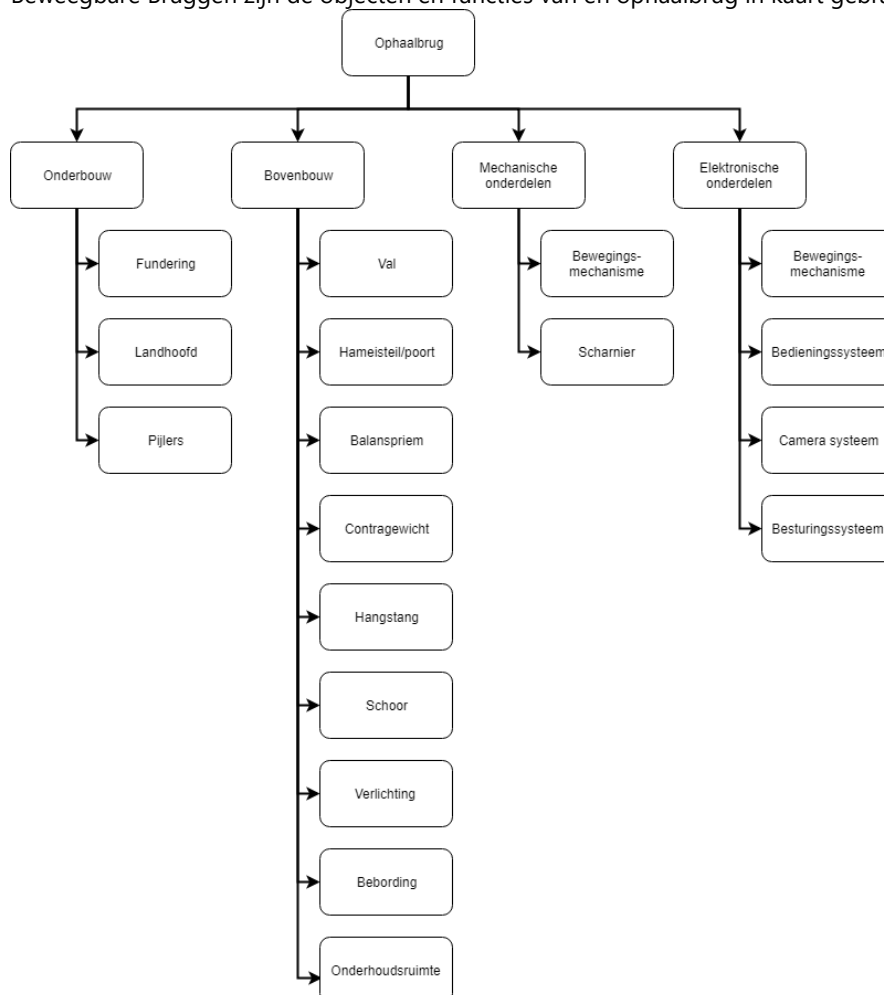
5

RANDVOORWAARDEN EN EISEN PROGRAMMATISCHE AANPAK

In dit hoofdstuk wordt de benodigde randvoorwaarden en (functionele en technische) eisen om het programmatisch ontwerp op te kunnen bouwen toegelicht. De objecten en functies van een ophaalbrug en de eisen die hier aan gebonden zijn worden hier in het licht gezet met de toepassing voor het programmatische aanpak.

5.1 Objecten en functies

Om de ophaalbrug in modules op te splitsen en de eisen te bepalen zijn als eerst de objecten en functies bepaald. Dit is samen met de groep Beweegbare Bruggen van Witteveen + Bos gedaan tijdens een workshop die de afstudeerders hebben georganiseerd. Tijdens een georganiseerde workshop met de groep Beweegbare Bruggen zijn de objecten en functies van een ophaalbrug in kaart gebracht.

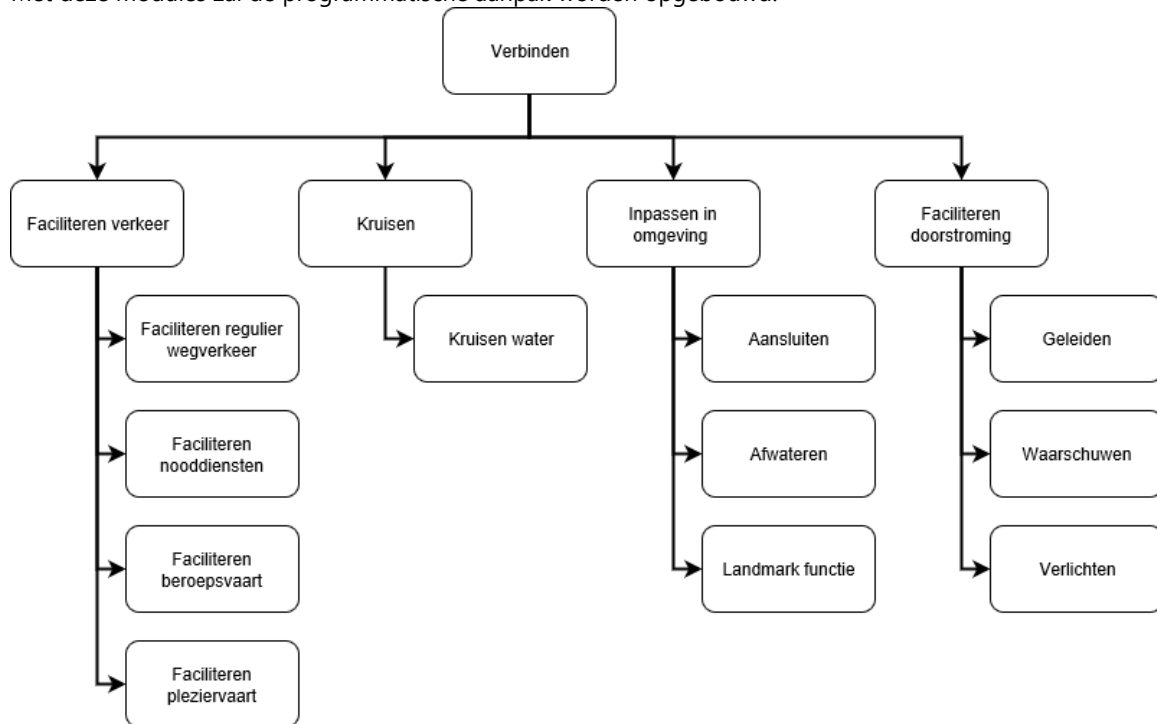


Figuur 6 Objectenboom ophaalbrug (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

In Figuur 6 zijn de bepaalde objecten van een ophaalbrug te zien. Zoals in paragraaf ... richt het afstudeeronderzoek op de bovenbouw. De onderdelen van de bovenbouw zijn bepaald wat resulteerde tot de volgende uit te werken modules:

- Het val
- Balanspriem + Contragewicht
- Hameistijl
- Hangstang

Met deze modules zal de programmatische aanpak worden opgebouwd.



Figuur 7 Functieboom ophaalbrug (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

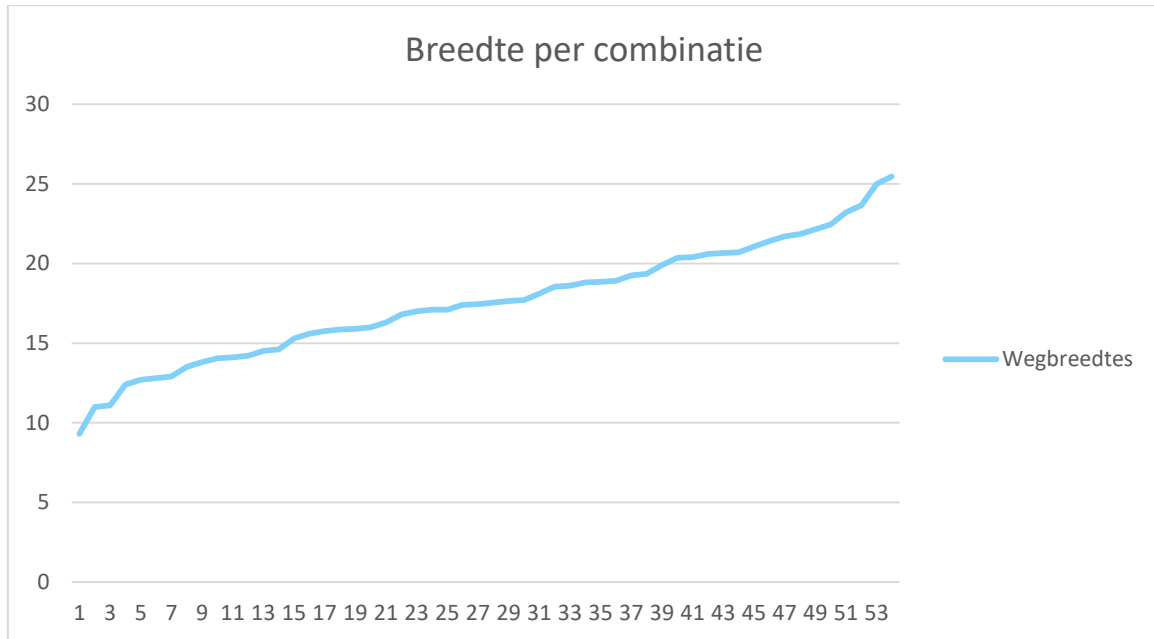
Het idee van de programmatische aanpak is om een eisen-gestuurd ontwerp te bouwen. Daarvoor is de focus gelegd op de functies van een ophaalbrug. De hoofdfunctie van een ophaalbrug is het verbinden van twee oevers met elkaar. Deze functie kan verder worden gedecomposeerd naar faciliteren verkeer, kruisen, inpassen in omgeving en faciliteren doorstroming. De functies met het meeste impact op het ontwerp zijn: faciliteren verkeer en kruisen. Deze functies zijn afhankelijk van de gestelde eisen van de opdrachtgever met betrekking tot hoeveel verkeer over de weg kan en welke klasse vaarverkeer de brug dient te kruisen.

Om de minimale afmetingen te bepalen is gekeken naar de normen en richtlijnen die voor de gebruikers gelden. In dit geval is gekeken naar de Richtlijnen Vaarwegen (Rijkswaterstaat, 2017) voor de benodigde afmetingen voor scheepvaart en de vaarwegbreedte. Deze informatie is nodig om de overspanning van het val te bepalen. Verder is het CROW geraadpleegd voor het Handboek Wegontwerp (CROW, 2018). Het CROW staat voor "Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek". De gestandaardiseerde wegindeling wordt hier uitgehaald en met de verschillende indelingen kan de benodigde breedte van het val worden bepaald. Voor de toetsing van de constructie wordt de Eurocode geraadpleegd.

5.2 Wegontwerp

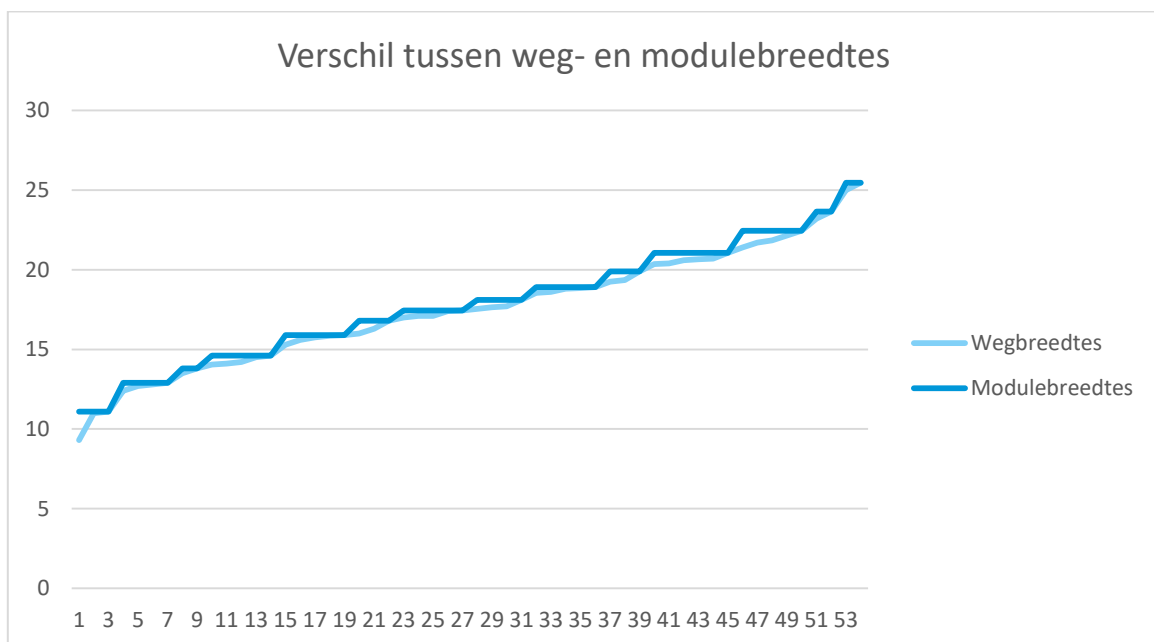
Voor de breedte van het val is het Handboek Wegontwerp gebruikt om het wegontwerp te bepalen. Het CROW biedt breedtes voor verschillende weg types aan. Afhankelijk van de gestelde eisen zal het type weg veranderen. Er zijn bijvoorbeeld regels voor het aanbrengen van een fietspad naast een weg. De typen wegen die worden aangenomen zijn gebiedsontsluitingswegen voor zowel binnen als buiten de bebouwde kom. Dit omdat een ophaalbrug het meeste bij deze typen wegen voorkomen.

De verschillende eisen voor de wegbreedte maken 54 verschillende combinaties mogelijk. Deze breedtes zijn te vinden in bijlage 4 en zijn gevisualiseerd in Figuur 8. De x-as geeft de 54 mogelijkheden van de wegingdeling aan. De y-as geeft de breedte van de desbetreffende wegingdeling aan.



Figuur 8 Breedte per combinatie (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Om een gestandaardiseerd ontwerp te krijgen is dit aantal verlaagd. Het val is vrij indeelbaar omdat de wegingdeling per situatie verschilt. Daarnaast is er rekening gehouden met eventuele veranderingen in het wegontwerp in de toekomst. Dit betekent dat meerdere breedtes onder één valmodule zal moeten vallen, wat zorgt voor een overdimensionering voor bepaalde wegbreedtes. Om dit te minimaliseren wordt het verschil tussen de benodigde breedtes en de toegepaste breedtes gevisualiseerd in een grafiek en daar op geïtereerd. Zie Figuur 9. Dit betekent dat de stappen tussen de wegbreedtes niet gelijk is maar de overdimensionering is nu wel minimaal.



Figuur 9 Verschil tussen weg- en modulebreedtes (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Uiteindelijk zijn 14 breedtes die de meest voorkomende wegbreedtes borgen gekozen voor de modules.

5.2.1 Invoerwaarden wegontwerp

Op basis van de gewenste wegindeling is de breedte van het val bepaald. Door middel van Excel wordt het wegontwerp programmatisch en eisen gestuurd opgebouwd. De in te voeren eisen zijn in een lijst opgenomen en gestandaardiseerd. De in te voeren eisen zijn:

Rijstroken

De invoer 'Rijstroken' bepaalt de totale hoeveelheid rijstroken voor het autoverkeer. De selectiemogelijkheden voor de rijstroken zijn:

- Twee rijstroken
- Drie rijstroken

Voetpad

De invoer 'Voetpad' bepaalt wat voor soort voetpad op de brug moet komen en op welke plaats. De selectiemogelijkheden voor het voetpad zijn:

- Geen
- Enkelzijdig
- Dubbelzijdig

Fietspad

De invoer 'Fietspad' bepaalt wat voor soort fietspad op de brug moet komen, in welke richting en op welke plaats. De selectiemogelijkheden voor het fietspad zijn:

- Geen
- Enkelzijdig
- Dubbelzijdig

Ontwerpsnelheid

De invoer 'Ontwerpsnelheid' bepaalt of het profiel van de weg. Hier wordt het toepassen van geleiderails en de rijstrookbreedte beïnvloed. De selectiemogelijkheden hiervoor zijn:

- 50 km/h
- 70 km/h
- 80 km/h

5.3 Scheepvaart

De overspanning van het val is afhankelijk van de breedte van de vaarweg. Deze breedte is afhankelijk van het type schip dat door de vaarweg heen kan varen of gewenst is in de toekomst. Doormiddel van de Richtlijnen Vaarwegen (RVW2017) kan het benodigde type schip gekoppeld worden aan een minimale breedte. Tevens kan de informatie uit Vaarwegen in Nederland worden geraadpleegd als een concrete locatie van de brug bekend is. In dit document zijn alle vaarwegen met bijbehorende CEMT klasse opgenomen.

5.3.1 Doorvaarhoogte

Een ophaalbrug moet voldoen aan een minimale doorvaarhoogte wanneer de brug gesloten is. Dit heeft geen invloed op de bovenbouw van een ophaalbrug omdat deze hoogte wordt bepaald door de bovenkant van het landhoofd of aanbrug. Daarom valt de doorvaarhoogte in gesloten toestand buiten de scope van de programmatische aanpak. In de open toestand dient de doorvaarhoogte onbeperkt te zijn.

In praktijk is dit uiteraard een integrale afweging tussen bijvoorbeeld de verkeersintensiteit van wegverkeer en scheepvaartverkeer en aantal gewenste brugopeningen. De lokale situatie qua maaiveldhoogtes, waterstanden en inpassing van toeritten en taluds naar de brug toe zijn hierin ook een belangrijke factor.

5.3.2 Doorvaarbreedte

Voor de overspanning van het val wordt gekeken naar het beroepsvaart en recreatievaart. Deze categorieën zijn onderverdeeld in verschillende klassen waar meerdere vaarwegprofielen beschikbaar zijn met verschillende eisen en voorwaarden. Om de kans op aanvaring te minimaliseren, dient bij een ophaalbrug het val in open stand niet met het Profiel van Vrije Ruimte(PVR) overlappen. Hier is rekening gehouden met evt. uitstekende scheepsdelen in welk geval scheefhang door de wind en beschermd is door geleidewerken.

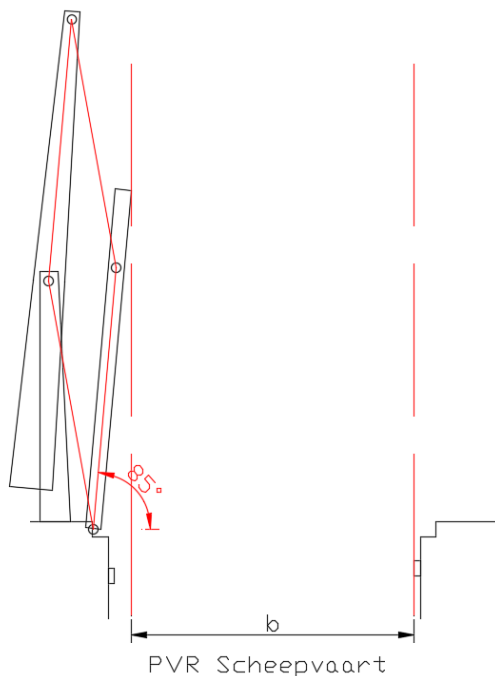
De doorvaarijdtte van het beweegbare brugdeel(het val) wordt bepaald door het afwegen van snelheid en veiligheid van de scheepvaart en de afweging van hinder tot wegverkeer en vaarwegverkeer.

Doormiddel van de maatgevende scheepsvaatsklasse kan de overspanning van het val bepaald worden. Met Excel wordt de minimumoverspanning programmatisch en eisen gestuurd vastgesteld. Er kunnen eisen gesteld worden voor zowel de beroepsvaart als de recreatievaart. In zo'n geval zal de grootste benodigde overspanning tussen de twee leidend zijn. De in te voeren eisen worden doormiddel van parameters bepaald.

De eisen die betrekking hebben op de minimale doorvaartbreedte gelden enkel in een situatie wanneer de brug geopend is. Hierdoor is de gestelde doorvaartbreedte vanuit de eisen niet per definitie de lengte van het val. Voor het val zijn namelijk ook nog opleggingen benodigd, hiervoor wordt minimaal 1 m ruimte gereserveerd. Daarnaast zal de brug in geopende stand niet recht omhoog staan in een hoek van 90 graden, maar zal deze hoek maximaal 85 graden bedragen. Bij een hoek van 90 graden staat de brug op een koppelpunt en kan verder doordraaien door bijvoorbeeld wind waardoor de brug vast kan komen te zitten. 85 graden is dus een marge om dit te voorkomen. Het val kan met deze hoek bij bepaalde lengtes in het profiel van vrije ruime voor de scheepvaart terechtkomen. Daarom is het noodzakelijk om in sommige gevallen de oplegging verdere naar achteren te plaatsen dan de 1 m die eerder is aangenomen. Dit resulteert in de volgende lengte maten voor de programmatische aanpak van het val met een maximale openingshoek van 85 graden. Tabel 1 geeft de lengtes van het val aan met de resulterende scheepvaartbreedtes onder een gegeven hoek. Zie Figuur 10. Verder is in het ontwerp het hoofddraaipunt van het val als nulpunt beschouwd omdat deze vast ligt.

Breedte vaarweg [m]	5,5	6	7	7,5	8,5	9,5
Lengte val [m]	7,5	8	9	9,5	10,5	11,5
Hoek [°]	82	83	84	84	85	85
Breedte vaarweg [m]	10,5	12	14	14,5	16,5	19
Lengte val [m]	13	14,5	16,5	17	19,5	22
Hoek [°]	83	84	85	85	84	85

Tabel 1 Aangehouden val lengtes programmatische aanpak (Petersen, 2018)



Figuur 10 PVR Scheepvaart (Haddouti, Eigen werk, 2018)

5.3.3 Invoerwaarden scheepsvaart

Er zijn vier in te voeren eisen voor de scheepsvaart. Deze eisen bepalen het minimale profiel van vrije ruimte wat het desbetreffende schip nodig heeft en heeft invloed op de overspanningslengte van de ophaalbrug.

CEMT klasse

De invoer 'CEMT klasse' geeft aan welk schip van de beroepsvaart door de opening van de brug heen moet kunnen. Dit heeft invloed op de minimale breedte van het vaarwegprofiel. De selectiemogelijkheden hiervoor zijn:

- Geen
- CEMT Klasse I
- CEMT Klasse II
- CEMT Klasse III
- CEMT Klasse IV
- CEMT Klasse Va
- CEMT Klasse Vb

Profiel beroepsvaart

De invoer 'Profiel beroepsvaart' bepaalt welk vaarwegprofiel voor de beroepsvaart wordt gehandhaafd. Dit heeft invloed op de minimale breedte van het vaarwegprofiel. De selectiemogelijkheden hiervoor zijn:

- Krap profiel
- Enkelstrooksprofiel

De profielen in de beroepsvaart kan in drie delen worden opgedeeld: normaal, krap en enkelstrook. De maten van deze profielen per CEMT klasse is uitgewerkt in Tabel 2. Volgens de richtlijnen dient bij een normaal profiel een vaste brug te worden toegepast. Beweegbare bruggen kunnen alleen bij krappe en enkelstrooksprofielen worden gebruikt.

Klasse	Normaal profiel	Krap profiel	Enkelstrooksprofiel
I	Geen beweegbaar brugdeel (vaste brug), tenzij het een open vaarweg betreft	8,5	7,0
II		10,5	8,5
III		12,0	10,5
IV		14,0	12,0
Va		16,5	14,5
Vb		19,0	16,5
Vla & Vlb		n.v.t.*	n.v.t.*

* Klasse Vla en Vlb moeten minimaal voldoen aan normaal profiel

Tabel 2 Doorvaartwijdte (m) van beweegbare bruggen voor beroepsvaart (Rijkswaterstaat, 2017)

Recreatieklasse

De invoer 'Recreatieklasse' geeft aan welk schip van de beroepsvaart door de opening van de brug heen moet kunnen. Dit heeft invloed op de minimale breedte van het vaarwegprofiel. De selectiemogelijkheden hiervoor zijn:

- Geen
- Klasse A
- Klasse B
- Klasse C
- Klasse D

Profiel recreatievaart

De invoer 'Profiel recreatievaart' bepaalt welk vaarwegprofiel voor de beroepsvaart wordt gehandhaafd. Dit heeft invloed op de minimale breedte van het vaarwegprofiel. De selectiemogelijkheden hiervoor zijn:

- Normaal M-profiel
- Krap M-profiel
- Normaal ZM-profiel
- Krap ZM-profiel

In de recreatievaart kan het profiel in twee hoofddelen worden verdeeld: het M-profiel en het ZM-profiel met beide daaronder een normaal en krap profiel. Het ZM profiel wordt toegepast wanneer op de vaarweg veel met zeilboten wordt gevaren. Zie Tabel 3.

Klasse	M-profiel		ZM-profiel	
	Normaal	Krap	Normaal	Krap
A	8,5	7,0	9,5	8,5
B	8,5	7,0	9,5	8,5
C	7,5	6,0	8,5	7,5
D	7,0	5,5	7,5	7,0

Tabel 3 Doorvaartwijdte (m) van beweegbare bruggen voor recreatievaart (Rijkswaterstaat, 2017)

5.4 Opbouw eisen-gestuurd ontwerp

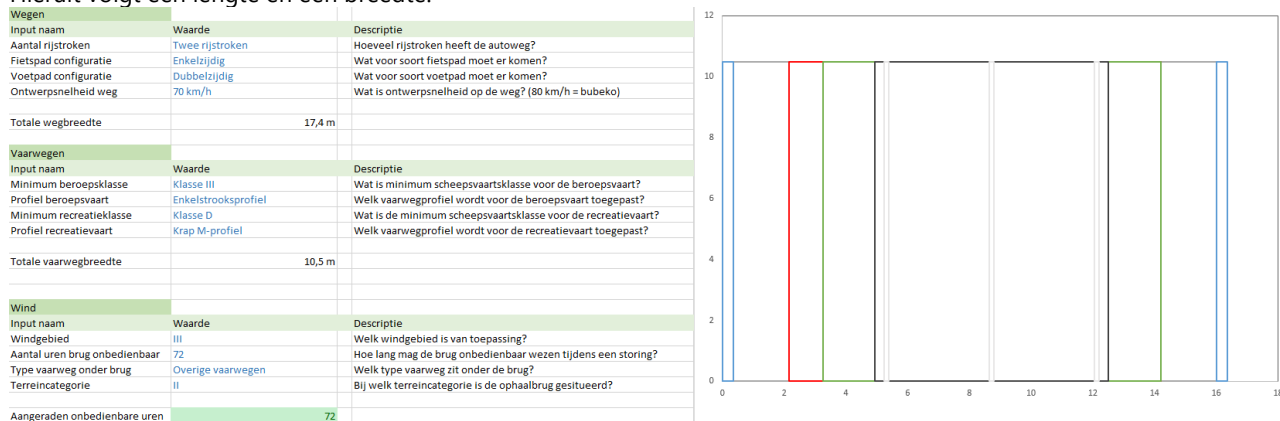
Het programmatisch ontwerp is eisen-gestuurd opgebouwd. Dit betekent dat doormiddel van het aangeven van eisen voor de wegbreedte en vaarwegbreedte, de afmetingen van het val zijn bepaald. Met de afmetingen en berekeningen van het val, zijn de overige modules bepaald. Deze eisen worden ingevoerd in de Excelsheet Weg & vaarwegbreedtes.xlsx (zie Figuur 11). Hier zijn in totaal acht eisen in te vullen. De eisen voor de weg is nodig voor het bepalen van het val. Deze eisen zijn:

- Aantal rijstroken; Hoeveel rijstroken heeft de autoweg?
- Fietspad configuratie; Wat voor soort fietspad moet er komen?
- Voetpad configuratie; Wat voor soort voetpad moet er komen?
- Ontwerpsnelheid weg; Wat is de ontwerpsnelheid op de weg?

Naast de eisen voor de breedte van het val, zijn de eisen voor de minimale vaarwegbreedte maatgevend voor de lengte van het val. Ook hier dient een viertal eisen te worden ingevoerd:

- Minimum CEMT klasse; Wat is de minimum CEMT klasse voor de beroepsvaart?
- Profiel beroepsvaart; Welk vaarwegprofiel wordt voor de beroepsvaart toegepast?
- Minimum recreatieklasse; Wat is de minimum scheepvaart klasse voor de recreatievaart?
- Profiel recreatievaart; Welk vaarwegprofiel wordt voor de recreatievaart toegepast?

Hieruit volgt een lengte en een breedte.



Figuur 11 Excelsheet weg en vaarwegbreedtes (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Het val vangt veel wind op bij geopende toestand. Voor de benodigde berekeningen voor wind worden eisen ingevoerd. Dit zijn een viertal eisen:

- Windgebied; Welk windgebied is van toepassing?
- Aantal uren brug onbedienbaar; Hoe lang mag de brug onbedienbaar wezen tijdens een storing?
- Type vaarweg onder brug; Welk type vaarweg zit onder de brug?
- Terreincategorie; Bij welk terreincategorie is de ophaalbrug gesitueerd?

5.5 Randvoorwaarden ophaalbruggen

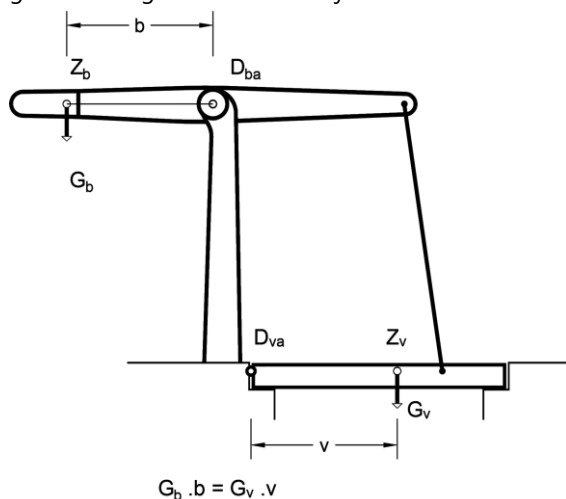
In de vorige paragraaf zijn de eisen vastgesteld die invloed hebben op het ontwerp van ophaalbruggen. In deze paragraaf worden deze eisen gekoppeld aan bepaalde onderdelen oftewel modules van een ophaalbrug. Tevens wordt in dit hoofdstuk de invloed die verschillende modules op elkaar hebben beschouwd, met als doel dat elke module onafhankelijk verder ontwikkeld kan worden. De raakvlakken veranderen niet, het enige afhankelijke tussen de modules zijn de benodigde rekenwaarden.

5.5.1 Evenwichtsvoorwaarden

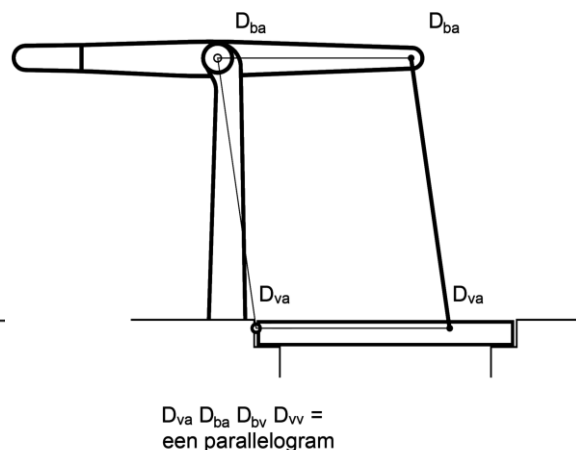
Uit het literatuuronderzoek Ophaalbruggen (zie bijlage 3) blijkt dat de onbalans, ook wel evenwichtsvoorwaarden van een ophaalbrug leidend is voor het uiteindelijke ontwerp. Zo moet een ophaalbrug voldoen aan de volgende drie evenwichtsvoorwaarden:

1. De vier draaipunten van een ophaalbrug dienen een parallelogram te vormen.
2. Het moment van het val om zijn draaipunt dient gelijk te zijn aan het moment van de balans om zijn draaipunt.
3. De lijnen van de zwaartepunten van de balans en het val naar hun scharnierpunten dienen evenwijdig te zijn.

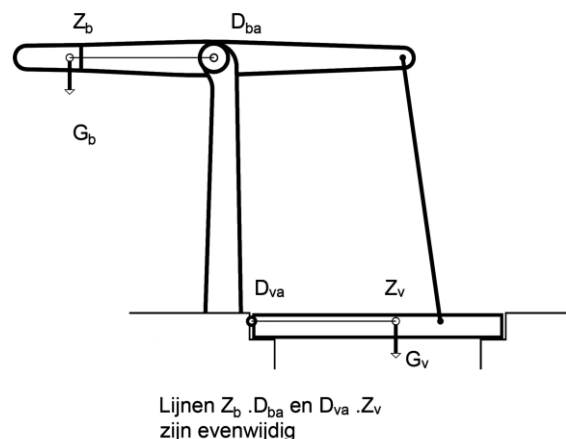
Volgens de Eurocode (Nederlands Normalisatie-instituut, 2017) mag de ophaalbrug geen perfecte balans hebben. Er dient een onbalans in de brug te zitten om te voorkomen dat bij de kleinste kracht de brug open gaat. In de figuren hieronder zijn de drie verschillende evenwichtsvoorwaarden visueel weergegeven.



Figuur 12 Eerste evenwichtsvoorwaarde (Oosterhoff, 1999)



Figuur 13 Tweede evenwichtsvoorwaarde (Oosterhoff, 1999)



Figuur 14 Derde evenwichtsvoorwaarde (Oosterhoff, 1999)

De eisen die in paragraaf 5.2 en 5.3 zijn vastgesteld hebben voornamelijk betrekking op de afmetingen van het val. Er kan dus gesteld worden dat het ontwerp van het val leidend is voor de evenwichtsvoorwaarden en dus voor het gehele ontwerp van de ophaalbrug.

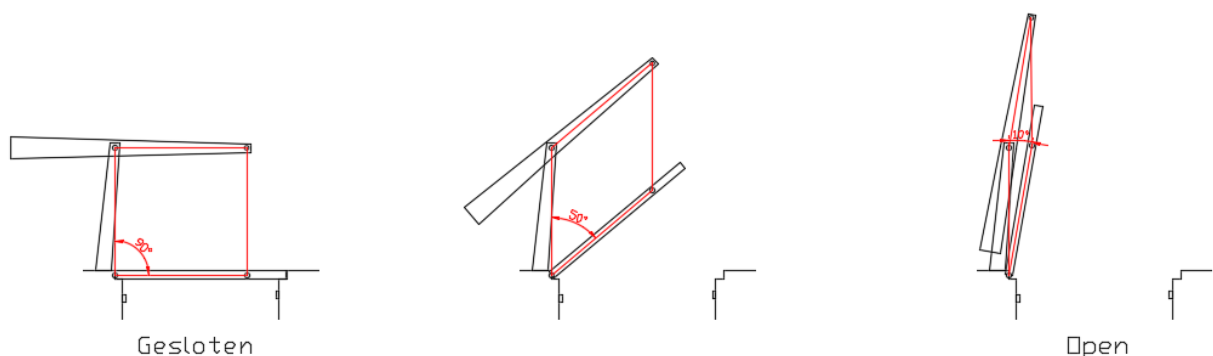
5.5.2 Positie draaipunten val

Het val heeft twee draaipunten, één ter plaatse van de hameitoren en één ter plaatse van de hangstang. Het draaipunt bij de hameitoren ligt vast.

In de locatie van de hangstang kan gevarieerd worden. Belangrijk hierbij is dat de hangstang wordt aangesloten op het val voorbij het zwaartepunt van het val, gekeken vanaf het draaipunt van het val. Daarnaast zal de hangstang aangesloten moeten worden aan een van de dwarsdragers van het val. Het uitgangspunt hierbij is dat de hangstang zo bevestigd wordt aan de één na laatste dwarsdrager. Zo kan de lengte van de draaipunten altijd bepaald worden.

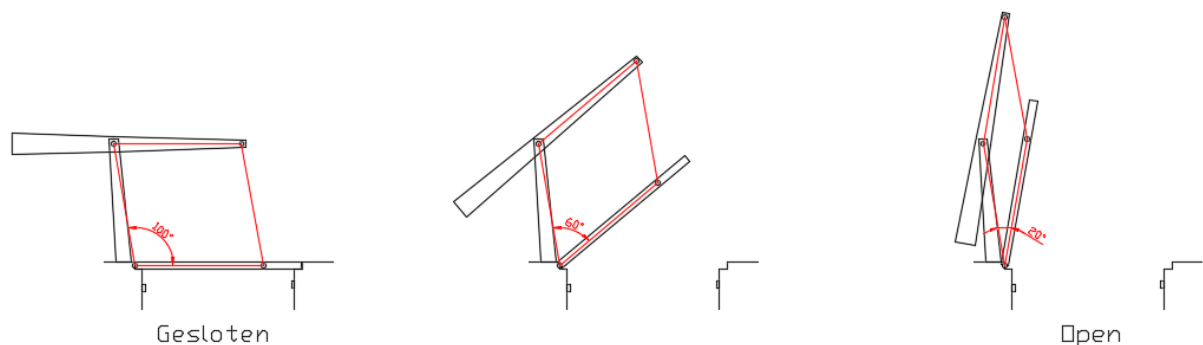
5.5.3 Hoek van het parallellogram

Het feit dat de ophaalbrug de parallellogram moet handhaven staat vast. Maar onder welke hoek deze parallellogram bij gesloten stand zit is variabel. Hiervoor is een schets van de ophaalbrug gemaakt onder verschillende hoeken. Het knelpunt is dat de balanspriem en contragewicht overlappen met de hameistijl. Dit is duidelijk te zien bij een rechthoek of parallellogram van 90° . Zie Figuur 15.



Figuur 15 Schets parallellogram 90° (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

Het doel is dus om zo min mogelijk overlap te krijgen zodat het contragewicht zo min mogelijk hol wordt gemaakt. Zo kan een zwaarder gewicht worden toegepast met gebruik van minder ruimte. Een hoek van 100° is geprobeerd. De benodigde holle ruimte is aanzienlijk verkleind. Zie Figuur 16.



Figuur 16 Schets parallellogram 100° (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

Ook is er gekeken naar een hoek van 110° . Dit leidt echter tot veel meer gebruik in ruimte met een minimale winst in overlap. Uiteindelijk is dus gekozen om een vaste hoek van 100° bij gesloten toestand aan te houden.

5.5.4 Afmetingen parallellogram

Het parallellogram heeft verschillende afmetingen afhankelijk van de eisen. Om dit uniform te maken zijn de afmetingen van het parallellogram verbonden aan de afmetingen van het val en balanspriem. Het val bepaalt de horizontale zijde van het parallellogram en de balanspriem bepaalt de verticale zijde van het parallellogram.

5.6 Belastingen

Voor het ontwerp van de ophaalbrug moet de constructieve haalbaarheid worden getoetst, hiervoor wordt wind, verkeersbelasting en eigen gewicht meegenomen als belasting. Verder zal slechts de uiterste- en bruikbaarheidsgrens toestand (UGT & BGT) worden gebruikt voor de toetsing. Dit betekent dat de minimaal constructie wordt getoetst op sterkte en doorbuiging. Verdere toetsingen op de onderdelen wordt verder toegelicht in hoofdstuk 6. Een ophaalbrug valt onder middelmatige gevolgen bij het falen van de constructie. Dit betekent dat gevolgklasse CC2 (Tabel 4) wordt aangehouden voor constructieve berekeningen.

Gevolgklasse	β	G			Verkeer (met $\psi = 1$)	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$)
		$\gamma_{G,j,\text{sup}}$		$\gamma_{G,j,\text{inf}}$		
		6.10a	6.10b (incl. ξ)	6.10a en 6.10b		
CC1	3,3	1,20	1,10	0,9	1,20	1,35
CC2	3,8	1,30	1,20	0,9	1,35	1,5
CC3	4,3	1,40	1,25	0,9	1,5	1,65

Tabel 4 Gevolgklassen (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011)

6

WERKWIJZE PROGRAMMATISCHE AANPAK

6.1 Het val

De gegevens die vanuit het Excelbestand van de eisen komen worden geïmporteerd in het Excelbestand van het val. Vervolgens zijn op basis van die invoergegevens de definitieve lengte en breedte van het val bepaald. Vervolgens zijn de afmetingen van de verschillende profielen van het val bepaald. Op basis van deze gegevens is een RFEM model opgebouwd. Nadat het RFEM model is opgebouwd zijn de belastingen ingevoerd en belastingcombinaties gemaakt. Vervolgens zijn de resultaten uit het RFEM bestand terug geïmporteerd naar het Excelbestand voor het val waarin deze gegevens constructief getoetst zijn.

6.1.1 Vaststellen definitieve afmetingen val

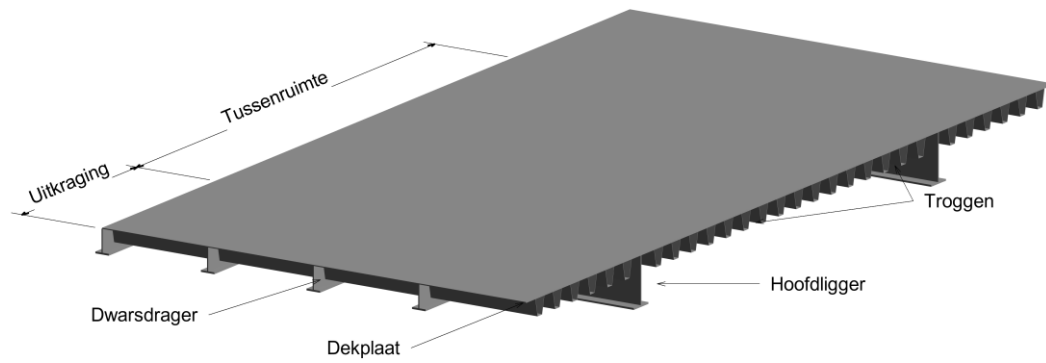
De invoer gegevens vanuit de eisen zijn eerste bewerkt om de definitieve lengte van het val te bepalen. Vanuit de eisen komt de benodigde breedte voor de vaarweg oftewel het profiel van vrije ruimte. Echter zal het val worden opgelegd op twee landhoofden of aanbruggen. Bij een van de twee opleggingen bevindt zich ook het draaipunt van het val. Deze twee onderdelen nemen ruimte in beslag die niet in het profiel van vrije ruimte voor de vaarweg mag komen. Voor de lengte van de opleggingen is 1 meter aangehouden voor de normale oplegging en 2 meter voor de oplegging waar ook het scharnier is gepositioneerd. Deze ruimte is inclusief begeleidingswerk.

Het val zal in geopende stand niet volledig recht openstaan in een hoek van 90 graden met de horizon. Dit is gedaan om ervoor te zorgen dat bij stevige wind het val niet meer wilt sluiten omdat het moment vanuit de windbelasting te groot is. Om ervoor te zorgen dat het val onder zware windomstandigheden dicht kan gaan is een maximale openingshoek van 85 graden gehanteerd.

De breedte die uit de eisen komt is voor het val niet verder aangepast. De scharnieren zijn wel meegenomen voor het bepalen van de lengte, echter zullen deze niet mee worden genomen in de berekening. De draaipunten worden normaliter pas in de DO fase vastgesteld, voor de VO fase is de locatie van de draaipunten het meest belangrijk.

6.1.2 Vaststellen geometrie van het val

Het val bestaat uit vier verschillend onderdelen namelijk twee hoofdliggers, een aantal dwarsdragers afhankelijk van de lengte van het val en een dekplaat met langsverstijvingen ook wel troggen genoemd. In Figuur 17 zijn de verschillende onderdelen gevisualiseerd.



Figuur 17 Onderdelen van het val (Petersen, 2018)

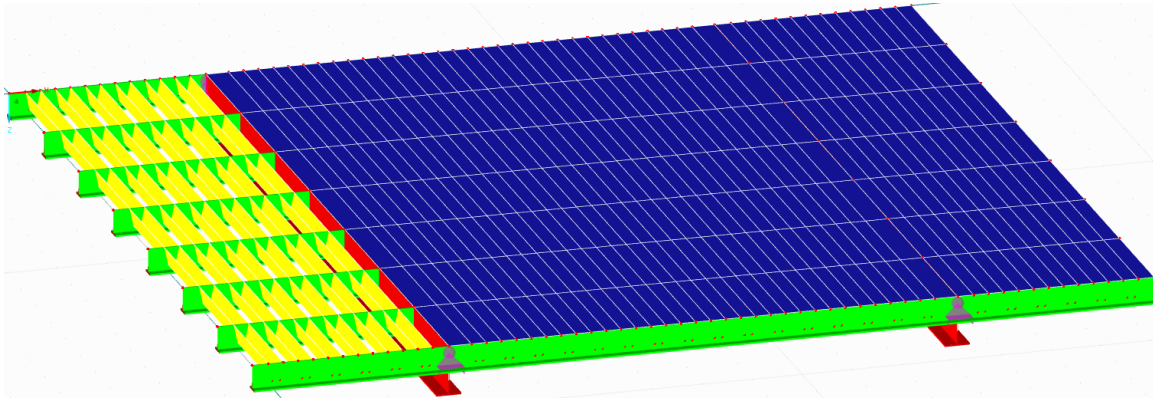
De hoofdliggers en dwarsdragers bestaan uit omgekeerde T-profielen waarbij het lijf is verbonden met de dekplaat. De afmeting van de dekplaat is vastgesteld op 20 mm, deze maat is een gegeven die vanuit de Eurocode is vastgesteld.

Het profiel van de troggen is eveneens vastgesteld op basis van gegevens uit de eurocode. Het profiel van de troggen kan bij alle afmetingen gelijk blijven doordat de dwarsdragers altijd op ongeveer dezelfde hart op hart maat worden gepositioneerd. Deze maat is niet voor elke situatie exact hetzelfde omdat de dwarsdragers evenredig zijn verdeeld over de lengte, zodat elke dwarsdrager gelijkwaardig wordt belast. Hierdoor blijft de overspanning van de trogligger altijd gelijk aan ongeveer 2,5 meter. De hart op hart maat van 2,5 meter is gekozen op basis van NEN-EN 1993-2 art. C.1.2.2 die de minimale stijfheid van de trogligger inclusief dekplaat bepaalt.

De hart op hart afstand van de hoofdliggers is bepaald op basis van een verhouding. Waarbij wordt uitgegaan dat het maximale moment en verplaatsing van de ruimte tussen de hoofdliggers gelijk is aan het maximale moment en verplaatsing van de uitkraging, bij een gelijkmatig verdeelde belasting verdeeld over de uitkraging of de tussenruimte.

6.1.3 Opbouwen RFEM model

Het RFEM model wordt opgebouwd uit de volgende gecategoriseerde gegevens: materiaaleigenschappen, profiel doorsnedes, staaf excentriciteiten, knopen, lijnen, staven, vlakken en steunpunten. Elk van deze categorieën heeft zijn eigen tabblad in Excel, op deze manier leest RFEM de gegevens uit het Excel bestand. De verschillende tabbladen zijn parametrisch opgesteld op basis van de geometrie gegevens die in de Invoertabblad zijn ingevuld.



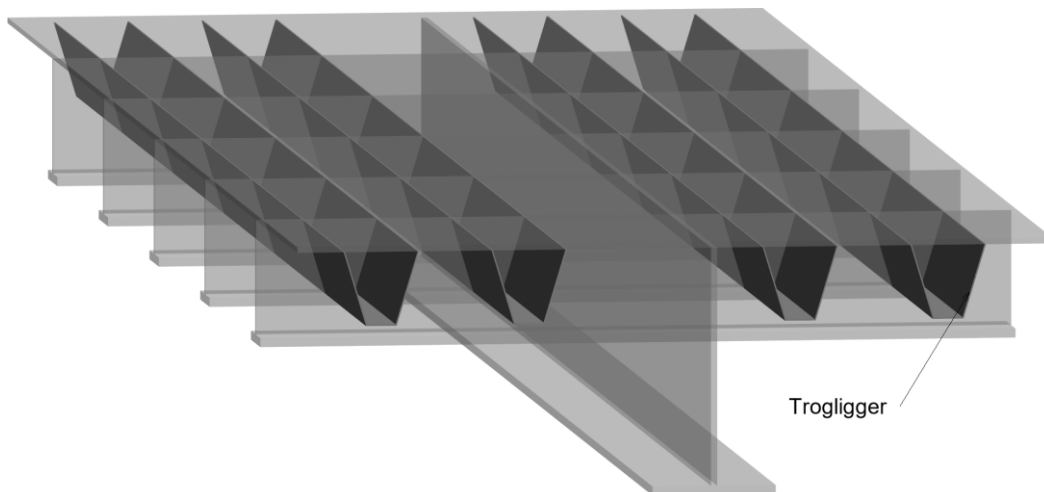
Figuur 18 Het vanuit Excel automatisch gegenereerde RFEM model (Petersen, 2018)

Om dit model automatisch vanuit Excel te generen is het nodig geweest om veel gegevens te voorzien van een Excel formule zodat het RFEM model altijd goed wordt opgebouwd wanneer de eisen veranderen. Dit is een complex proces geweest waarin gebruik is gemaakt van verschillend als functies. De "als" functies zijn nodig om bepaalde cellen oftewel gegevens aan of uit te zetten. Zo is het aantal dwarsdragers niet altijd gelijk waardoor in sommige situaties meer cellen (dwarsdragers) benodigd zijn dan andere. Om dit te realiseren zijn verschillende "als" functies opgesteld. Daarnaast is veel gebruik gemaakt van verschillende patronen. Bijvoorbeeld voor de punten van de troggen. De troggen bestaan uit drie verschillende vlakken die worden gevormd door vier lijnen zie Figuur 19. Dus telkens naar vier verschillende lijnen wordt er een sprongetje gemaakt naar het volgende vlak. En doordat de troggen net zoals de dwarsdragers verschillen in hoeveelheden is dit ook nog gecombineerd met een ALS functie.

In totaal kunnen door het Excel automatisch 408 knopen, 538 lijnen, 180 vlakken en 69 staven automatisch gegenereerd worden op basis van de invoerwaarden. Om enigszins een beeld te geven van de complexiteit zijn hieronder twee vergelijkingen zoals ze in het Excelbestand zijn opgebouwd weergegeven. De eerste vergelijking wordt gebruikt om een dwarsdrager te generen. De tweede vergelijking wordt gebruikt om één vlak van een trog te generen in RFEM.

```
ALS('Het val algemeen'!$C$20>=Selectiemogelijkheden!B7;TEKST.SAMENVOEGEN('1.1  
Knopen'!A11;" ";1.1 Knopen'!A12);")
```

```
ALS('Het val  
algemeen'!$C$62>=Selectiemogelijkheden!B1;ALS(Selectiemogelijkheden!B3=Selectiemo  
gelijkheden!B1;TEKST.SAMENVOEGEN('1.2 Lijnen'!A263;" ";1.2  
Lijnen'!A81+Selectiemogelijkheden!B4;" ";1.2  
Lijnen'!A82+Selectiemogelijkheden!B4;" ";1.2 Lijnen'!A398);TEKST.SAMENVOEGEN('1.2  
Lijnen'!A263;" ";1.2 Lijnen'!A82+Selectiemogelijkheden!B1;" ";1.2  
Lijnen'!A83+Selectiemogelijkheden!B1;" ";1.2 Lijnen'!A398));")
```



Figuur 19 Detail trog (Petersen, 2018)

6.1.4 Belastingen positioneren

Er worden verschillende soorten belastingen meegenomen die onder te verdelen zijn in twee groepen namelijk blijvende belasting en veranderlijke belasting.

De blijvende belasting bestaat uit het eigen gewicht van het val, deze wordt automatisch door RFEM bepaald. Daarnaast zijn er nog andere opgelegde blijvende belastingen zoals de epoxy slijtlaag en het straatmeubilair. Deze belastingen zullen niet worden meegenomen omdat deze te klein zijn om een aanzienlijke invloed te hebben op het krachten spel.

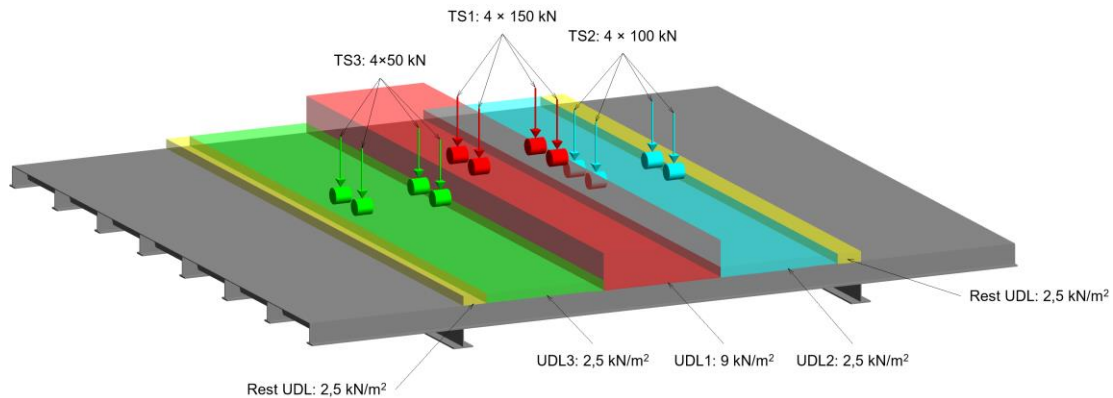
De veranderlijke belasting bestaat enkel uit de verkeersbelasting. Andere veranderlijke belastingen zoals bijvoorbeeld de wind worden in de gesloten toestand niet meegenomen. Voor de verkeersbelasting worden drie verschillende belastingmodellen meegenomen die vanuit de eurocode worden voorgesteld.

1. Tandemstelsel bestaande uit twee as lasten en een gelijkmatig verdeelde belasting over de volledige lengte.
2. Een enkele as last.
3. Een gelijkmatig verdeelde belasting over het hele oppervlak die een mensenmenigte simuleert.

De positie van deze belastingen worden zo gekozen dat deze het meest ongunstig zijn voor de constructie. Voor de berekening van het val wordt uitgegaan van vier verschillende posities met elk zijn eigen doel. Positie één heeft als doel om een maximaal moment in de dwarsdragers te krijgen. Positie twee heeft als doel om een maximaal moment in de hoofdliggers te krijgen. Positie drie heeft als doel om een maximale verplaatsing in de uitkraging te krijgen. En tot slot heeft positie vier als doel om de maximale dwarskracht in de hoofdlijger te krijgen.

De belastingen worden in RFEM gegenereerd met behulp van een add-on module. Waarbij de invoer waarden in het Excelbestand zijn bepaald en weergegeven. Vervolgens genereert deze module de verschillende belastinggevallen. De belastingen worden gegenereerd als een lopende belasting, dat wil zeggen dat de belasting telkens volgens een vooraf gedefinieerde stap wordt verplaatst. De verplaatsing is op zo'n manier bepaald dat de belasting telkens precies tussen de dwarsdragers komt te staan en precies erboven. Dit is gedaan om de meest ongunstige situaties te krijgen.

In Figuur 20 is één van de posities weergegeven. Het betreft hier een tandemstelsel die het maximale moment van de dwarsdragers moet verkrijgen (positie één). De overige weergaven van de posities zijn te vinden in bijlage 5.



Figuur 20 Indeling tandemstelsel voor maximaal moment dwarsdrager (Petersen, 2018)

6.1.5 Belastingcombinaties maken

De belastingcombinaties worden automatisch in RFEM gemaakt. Zo worden twee combinaties gemaakt voor de uiterste grenstoestand en één voor de bruikbaarheidsgrenstoestand. Deze combinaties zijn gemaakt op basis van de eurocode.

Om RFEM de belastingen goed te laten generen is het noodzakelijk om de juiste momentaan factoren in te voeren uit de Nederlandse nationale bijlage. Voor de UGT wordt uitgegaan van de belastingcombinaties 6.10a en 6.10b en voor de BGT wordt uitgegaan van de combinatie 6.14b. Verdere uitleg hierover is te vinden in de bijlage 5.

6.1.6 Uitvoer RFEM berekening controleren

Wanneer RFEM zijn berekening heeft uitgevoerd worden de resultaten handmatig uitgelezen en terug ingevoerd in het Excelbestand. Aan de hand van de resultaten zullen de volgende constructieve toetsingen worden uitgevoerd.

1. Maximale buigspanning
2. Maximale schuifspanning
3. Maximale plooi spanning
4. Maximale vervorming
5. Vermoeiing (aanname)

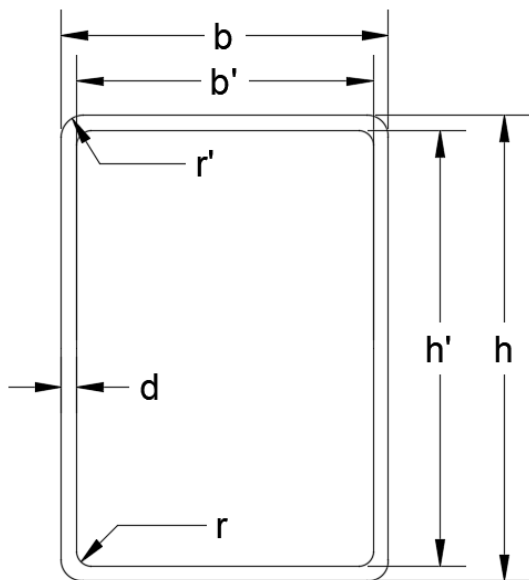
De resultaten worden per onderdeel apart uitgelezen en ingevoerd in het Excelbestand om de toetsing uit te voeren. De volgende gegevens zullen het uit RFEM bestand gehaald worden per onderdeel.

1. Maximaal moment
2. Maximale normaalkracht
3. Maximale dwarskracht
4. En de maximale spanning

Het moment en de normaalkracht worden gebruikt om de maximale buigspanning te toetsen. Het resultaat van deze combinatie wordt gevalideerd door ook de maximale spanning uit het RFEM model te halen. De maximale dwarskracht wordt gebruikt om de afschuiving te toetsen. Plooi wordt getoetst op basis van de maximale spanning. Tot slot wordt de maximale verplaatsing getoetst welke niet groter mag zijn dan $L/250$.

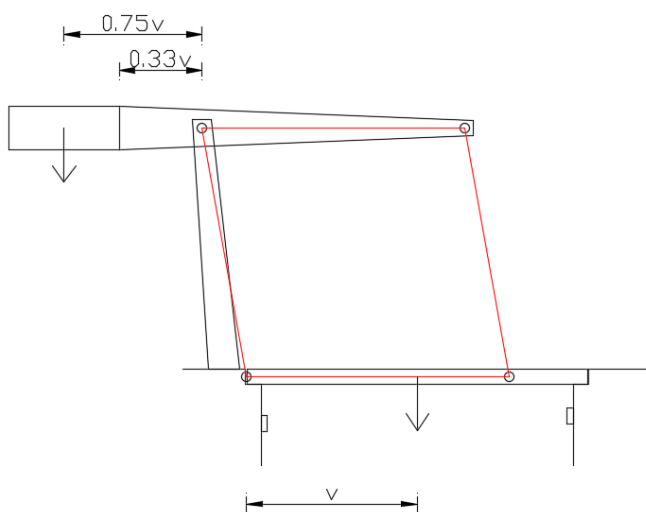
6.2 Balanspriem

Voor de balanspriem zijn twee kokerprofielen bepaald (zie Figuur 21). De vorm van de balanspriem is in principe deze twee kokerprofielen die in elkaar lopen. Beide profielen worden bepaald met het Excel bestand Balanspriem.xlsx. Naast het soortelijk gewicht van het staal en de staalkwaliteit zijn alle overige waardes automatisch berekend.



Figuur 21 Kokerdoorsnede (Haddouti, Eigen werk, 2018)

De balanspriem kan verder getoetst worden met RFEM doormiddel van het bestand Balanspriem.rf5. De manier van het importeren van het RFEM model werkt zoals beschreven bij het val. Dit geldt ook voor alle aankomende onderdelen. Bij de balanspriem is het van belang dat de onbalans wordt gehandhaafd. Dit volgt uit de eerste en derde evenwichtsvoorwaarde zoals te zien in Figuur 12 en Figuur 14. Om deze onbalans te handhaven is het contragewicht berekend. Het gewenste zwaartepunt en de extra lengte voor de balanspriem zijn afhankelijk van de plaats van het zwaartepunt van het val. Deze uitgangspunten zijn te zien in Figuur 22.



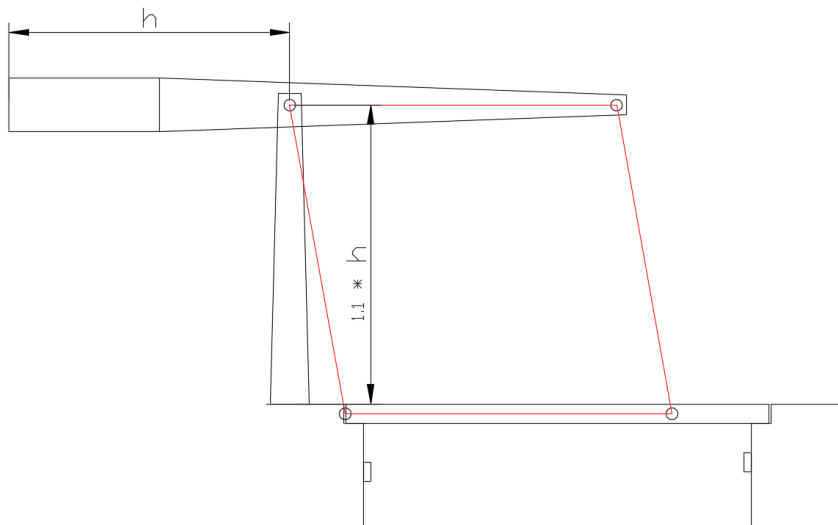
Figuur 22 Uitgangspunten afmetingen contragewicht (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Verder bepaalt de lengte van de balanspriem met contragewicht achter het val en de hoogte van de hameistijl. Deze lengte bepaalt dus ook de verticale zijde van het parallellogram. De balanspriem wordt getoetst op sterkte, buiging, afschuiving en plooi. Verder worden twee van de drie evenwichtsvoorwaarden voor de ophaalbrug hier gevalideerd. De constructieve toetsing en hoe het evenwicht wordt gehandhaafd is verder toegelicht in bijlage 6.

6.3 Hameistijl

De hameistijl is net als de balanspriem opgebouwd uit twee kokerprofielen: Het onderste en bovenste profiel. Deze invoerwaarden zitten in het Excelsheet Hameistijl.xlsx. Net als de balanspriem zullen de twee profielen in elkaar lopen en zo de hameistijl opbouwen. Hier kan ook weer de staalkwaliteit worden

aangepast indien dat van toepassing is. De hoogte van de hameistijl volgt uit de resultaten van de balanspriem. Deze hoogte komt voort uit de lengte van de balanspriem achter het val met de lengte van het contragewicht met een marge van 1,1 (zie Figuur 23). De hameistijl kan worden doorgerekend in RFEM doormiddel van het RFEM bestand: Hameistijl.rf5. De Excel sheet is geconfigureerd om het model in RFEM op te kunnen bouwen. De constructieve toetsing is verder toegelicht in bijlage 6.

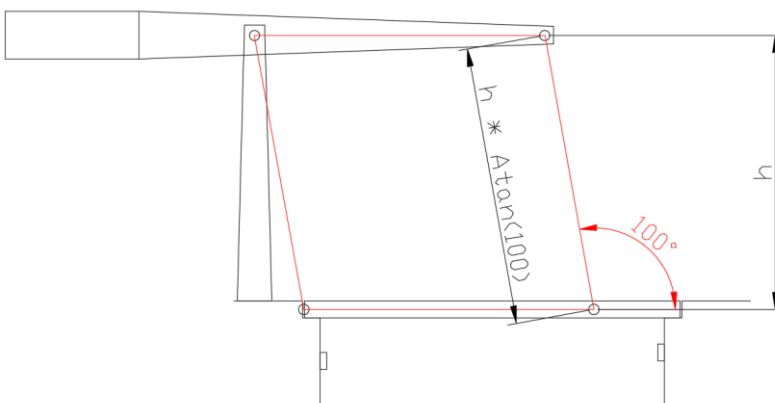


Figuur 23 Hoogte hameistijl (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Wanneer de brug open gaat dient het contragewicht niet in aanraking te komen met het maaiveld. Met de hoogte van de hameistijl op dezelfde lengte van de balanspriem + contragewicht achter het val zal dit met de marge nooit voorkomen. De hameistijl is een stalen kolom en kan dus bezwijken op knik. Verder zal ook de windbelasting van het val in open toestand hier opgenomen moeten worden. Naast de toetsing op knik wordt de hameistijl ook getoetst op sterkte, buiging, afschuiving en plooi.

6.4 Hangstang

De hangstang verbindt het val met de balanspriem en heeft als taak om het val open te trekken. Net als de vorige modules is de hangstang ook een kokerprofiel. Echter is dit slechts één kokerprofiel in plaats van twee. En net als de vorige modules kunnen de afmetingen van het kokerprofiel worden bepaald met eventueel een andere staalspanning. De lengte van de hangstang kan worden bepaald door de hoogte van de hameistijl. Met deze hoogte en de vaste hoek van het parallellogram van 100° is doormiddel van het gebruik van goniometrie de lengte bepaald (zie Figuur 24).

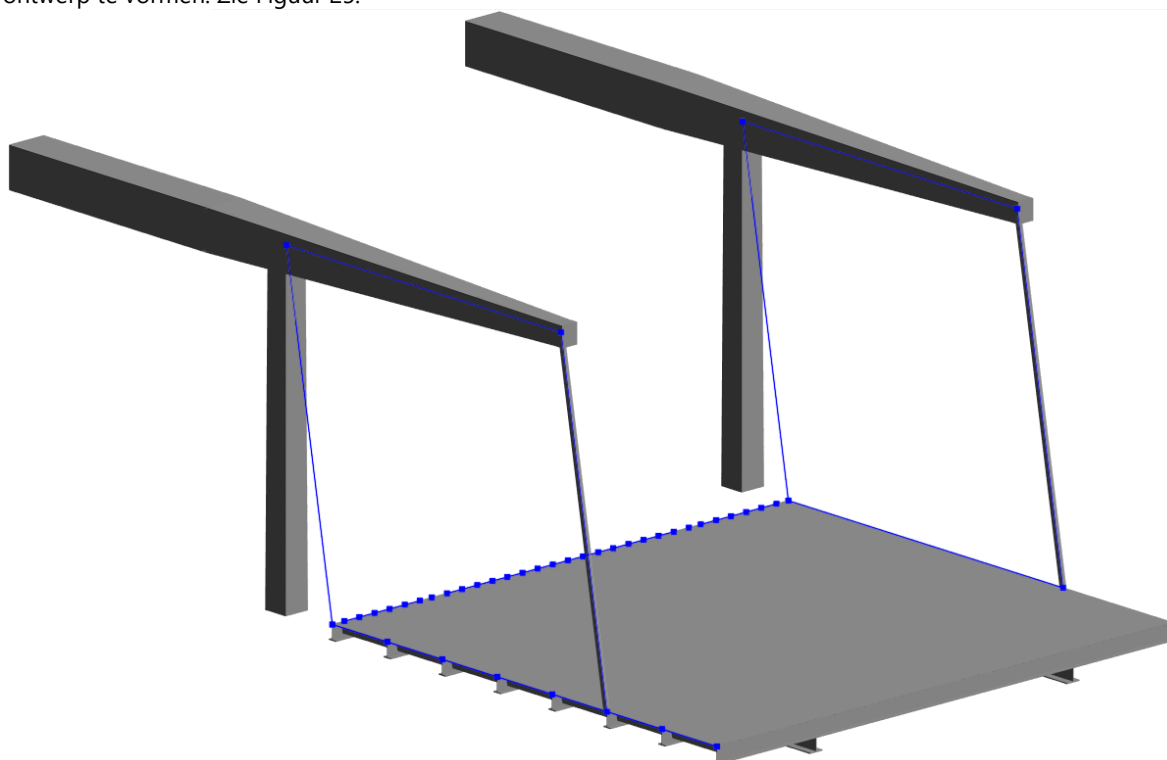


Figuur 24 Lengte hangstang (Haddouti, Eigen werk, 2018)

De hangstang kan net als de vorige modules worden doorgerekend in RFEM doormiddel van het RFEM bestand: Hangstang.rf5. De Excel sheet is geconfigureerd om het model in RFEM op te kunnen bouwen. De constructieve toetsing is verder toegelicht in bijlage 6.

HET GENEREREN VAN EEN PROGRAMMATISCH ONTWERP

Doormiddel van de resultaten uit de constructieve toetsing zijn de afmetingen van elk module bepaald. Deze afmetingen zijn gebruikt in Revit voor het opbouwen van het 3D model. Met Dynamo kan doormiddel van visueel programmeren de informatie uit Excel worden vertaald naar Revit. In Revit worden Families gemaakt voor de modules. Een Family in Revit is een groep van verschillende elementen die samen een 3D model maken. Doormiddel van parameters kan de vorm van de elementen bepaald worden. Deze Families kunnen worden geplaatst in een project om te voorkomen dat dezelfde elementen niet opnieuw hoeven te worden ontworpen. Meerdere Families van dezelfde en verschillende types zijn dankzij Dynamo geplaatst om zo een ontwerp te vormen. Zie Figuur 25.



Figuur 25 3d model ophaalbrug in Revit (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

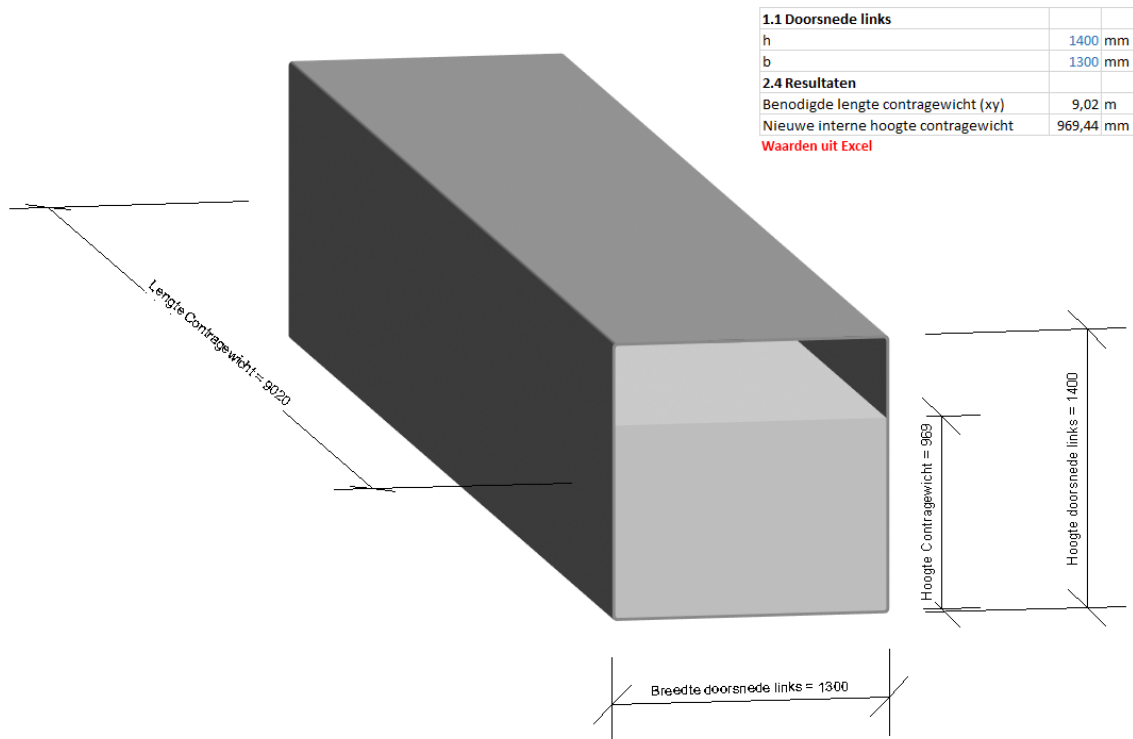
Revit kan uit zichzelf geen waarden uitlezen uit Excel om het model op te kunnen bouwen. Dynamo geeft de flexibiliteit om verschillende Excel bestanden uit te lezen en voor elke Family de benodigde parameters in te voeren. Dynamo zorgt slechts voor de verbintenis tussen Revit en Excel, er worden geen berekeningen gedaan in Dynamo omdat Excel daar veel handiger in is.

7.1 Parallellogram

Als eerst is het parallellogram uitgelezen. Doormiddel van Dynamo is de Excel sheet van de balanspriem uitgelezen. De balanspriem heeft alle benodigde informatie om het parallellogram op te bouwen. Dynamo geeft de mogelijkheid om punten te plaatsen en lijnen te trekken. Hieruit kan eenvoudig het parallellogram uitgemaakt worden. Het parallellogram dient zowel ter controle als een referentie voor het plaatsen van de Families zoals beschreven in paragraaf 7.2.

7.2 Revit Families

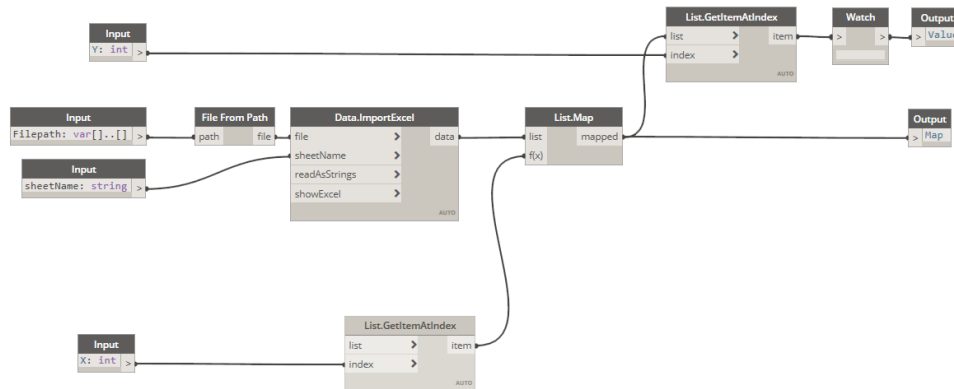
Om het ontwerp op te bouwen zijn Families gemaakt die door Dynamo worden aangestuurd. Om problemen te voorkomen worden de Families zo opgebouwd dat het nulpunt van de family precies op één van de punten van het parallellogram valt. Dit maakt het voor dynamo makkelijker om ze goed te plaatsen in het model. De parameters van de Families zijn ook zo bepaald dat alle benodigde informatie uit de Excelsheets kan worden uitgelezen (zie Figuur 26).



Figuur 26 Revit Family van de balanspriem met parameters (Haddouti, Eigen werk, 2018)

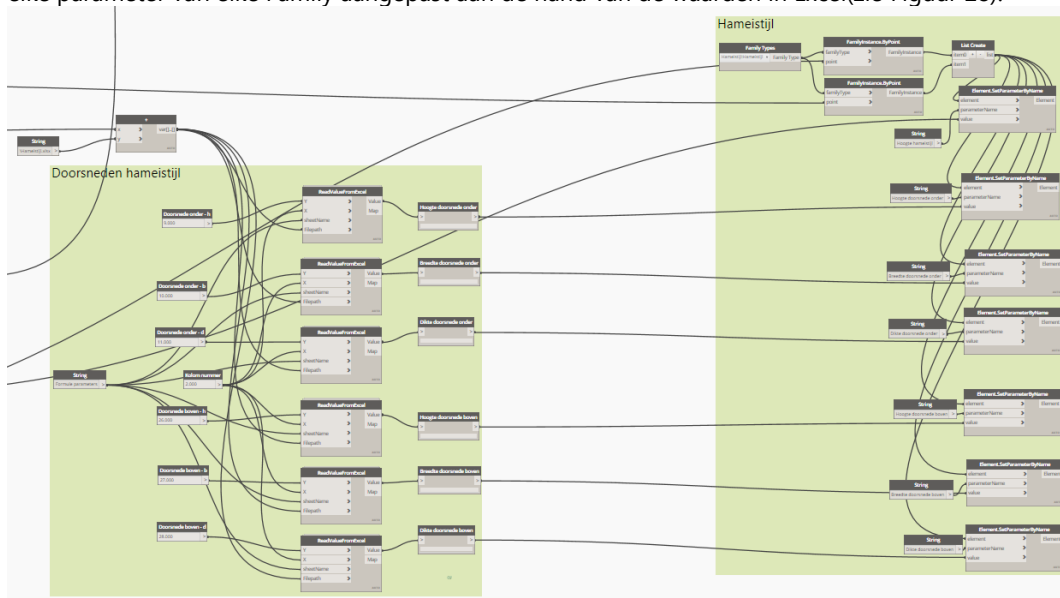
7.3 Opbouw van het model

Ook de parameters in elke family worden bepaald door het uitlezen van de Excelsheets. Het gaat hier voornamelijk om de afmetingen van de verschillende profielen. Dynamo heeft echter geen functie voor het uitlezen van een specifieke cel uit een Excel sheet. Hiervoor is een nieuwe functie in Dynamo gemaakt. Zie Figuur 27.



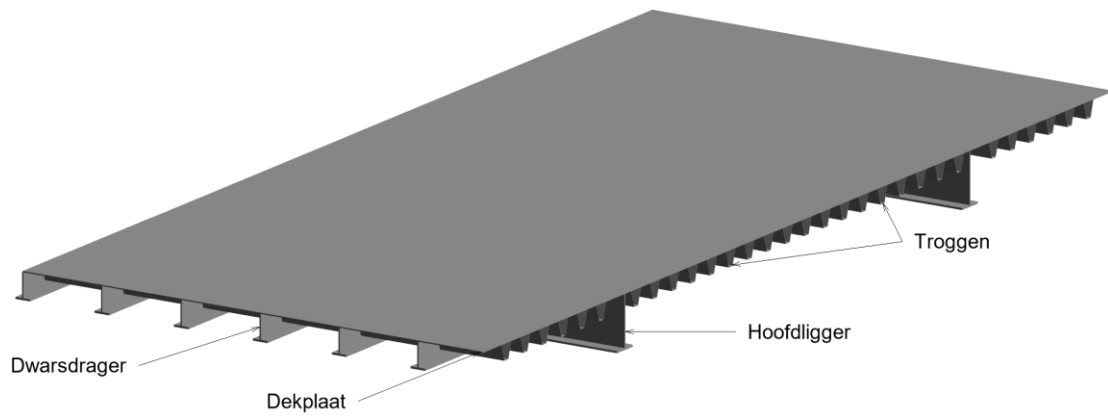
Figuur 27 Excel-lees functie (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Het parallellogram is dan opgebouwd en de Families worden op de juiste locatie geplaatst. Daarna wordt elke parameter van elke Family aangepast aan de hand van de waarden in Excel (zie Figuur 28).



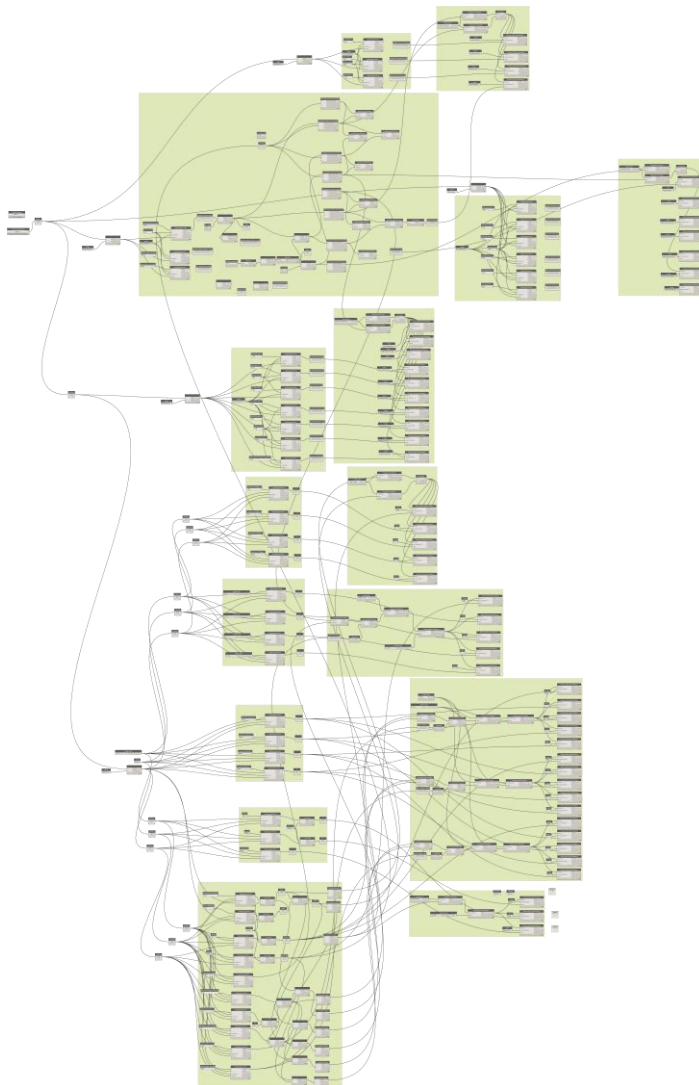
Figuur 28 Parameters en plaatsing Family in Dynamo (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

Het val is anders opgebouwd dan de rest van de modules. Het is niet één Family maar meerdere die door Dynamo op de juiste plaats worden gebouwd. Doormiddel van het bepalen van de benodigde lengte, breedte en hart op hart afstand tussen de liggers kan het gehele val met een vier Families worden opgebouwd (zie Figuur 29).



Figuur 29 Opbouw van het val met Dynamo (Petersen, 2018)

Om al deze Families te verbinden en de juiste parameters aan elke Family te hechten, moet het gehele Dynamo script goed met elkaar verbonden zijn. Het gehele Dynamo script is te zien in Figuur 30 met een vergrootte versie in bijlage 8.



Figuur 30 Hele Dynamo script (Haddouti & Petersen, Eigen werk, 2018)

Dit script leest alle Excel-sheets uit. En zolang de benodigde Families in het project zijn geladen kan het hele model zoals in Figuur 25 is afgebeeld worden opgebouwd met een druk op een knop.

KOSTENEFFECTIVITEIT

8.1 Definitie kosteneffectiviteit

Het programmatisch ontwerp geeft de mogelijkheid om tijd en geld te besparen op het ontwerpproces. Om dit te bewijzen is het programmatisch opgestelde ontwerp vergeleken met een gelijkwaardig ontwerp dat is opgesteld volgens de huidige methode. Naast tijd en geld wordt ook aangetoond dat de kwaliteit van het programmatisch ontwerp gelijkwaardig is aan de huidige methode.

Een verlaging van de kosten betekent dus niet dat de kosteneffectiviteit automatisch omhoog gaat. De kwaliteit of effectiviteit van het product speelt ook een rol. Wanneer wordt gestreefd naar een betere kosteneffectiviteit zijn drie mogelijkheden die dit garanderen zoals in de Tabel 5 in het groen is weergegeven. In dezelfde tabel is ook een grijs gebied weergegeven. Binnen dit gebied is zowel mogelijk om een lagere kosteneffectiviteit als een hogere te representeren. Hier is dan extra onderzoek benodigd om tot een juiste conclusie te komen. Verder is in de tabel een rood gebied aangegeven. Alles wat in dit gebied terecht komt zal resulteren in een lagere kosten effectiviteit.

	Lagere kosten	Gelijke kosten	Hogere kosten
Hogere effectiviteit	++	+	+-
Gelijke effectiviteit	+	+-	-
Lagere effectiviteit	+-	-	--

Tabel 5 Mogelijkheden kosteneffectiviteit (Petersen, 2018)

	Hogere kosteneffectiviteit
	Extra onderzoek benodigd
	Lagere kosteneffectiviteit

8.2 Initiële investering

Om de programmatische aanpak te ontwikkelen dient eerst geïnvesteerd te worden in de tijd om het ontwerp op te bouwen. Dit vergt een grote inzet om tot een bruikbaar ontwerp te komen. De kosten om het ontwerp op te bouwen dienen ook meegenomen te worden voor de vergelijking van de kosteneffectiviteit tussen de huidige en programmatische methode. Voor deze investering is een planning opgesteld om een oog te krijgen voor hoe lang dit zal duren. Zie bijlage 9 Deze planning is gebaseerd op de benodigde tijd om de huidige programmatische aanpak op te bouwen. Uit de planning blijkt dat ongeveer 15 weken nodig is om tot het programmatische aanpak te komen.

8.3 Kosten programmatische aanpak

Het programmatisch ontwerp streeft naar lagere kosten met een gelijke effectiviteit. Om de lagere kosten te bewijzen is een planning opgesteld voor hoe lang het zal duren om voor de constructeur en ontwerper tot een voorontwerp te komen. Deze benodigde tijd is afgestemd met Witteveen + Bos en is ruim aangenomen om rekening te houden met iteratiestappen. In bijlage 10 is de planning voor het toepassen van de programmatische aanpak te vinden. Met de programmatische aanpak kan het ontwerp in principe binnen een dag worden opgebouwd.

8.4 Kosten huidige methode

Een planning van een bestaande ophaalbrug tot aan de voorontwerp is naast de opgestelde planning gelegd. De vergelijking in het aantal manuren zorgt voor een bepaalde hoeveelheid winst in de tijd en geld. In bijlage 11 is de planning van de huidige methode te vinden. De benodigde tijd met de huidige methode is ongeveer 25 dagen of 5 weken. Deze 5 weken komt voornamelijk door de afstemming tussen constructeur en ontwerper. Deze doorlooptijd komt uit afstemming met experts van Witteveen + Bos.

8.5 Vergelijking in kosten

In bijlage 12 zijn de plannings naast elkaar gelegd. Met het schrijven van het ontwerprapport heeft de programmatische aanpak één week nodig om het ontwerp af te ronden. De huidige methode heeft 5 weken nodig om tot het voorontwerp te komen. De opbouw van het programmatische aanpak zal 15 weken duren. Om hier meer inzicht op te geven is een vast uur tarief aan deze plannings gebonden, namelijk €100. Elke dag zal Witteveen + Bos €800 kosten per persoon. Voor 5 weken werken aan het traditioneel voorontwerp zal dit leiden tot €20.000. Een week voor de programmatische aanpak kost €4000. Verder zal de opbouw van het programmatische aanpak €60.000 kosten. De winst per project is dan €16.000. Om de initiële investeringskosten terug te winnen moeten dus $\frac{60000}{16000} = 4$ projecten met de programmatische aanpak worden gedaan. Zie Tabel 6.

Methode	Traditioneel voorontwerp	Programmatische aanpak	Investering programmatische aanpak
Tijd	5 weken	1 week	15 weken
Kosten	€16.000	€4000	€60.000

Tabel 6 Vergelijking traditioneel voorontwerp met programmatische aanpak (Haddouti, Eigen werk, 2018)

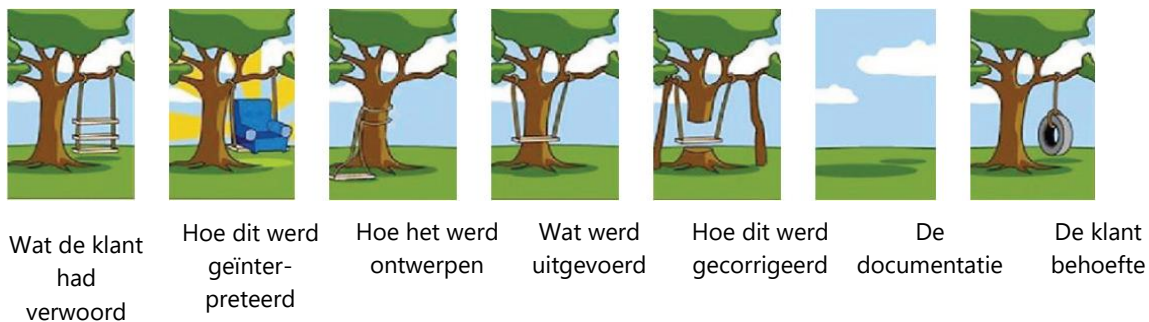
Volgens Witteveen + Bos worden veel meer dan 4 ophaalbrug projecten per jaar gedaan. De kostenbesparing per project zou dan 4 weken zijn. Dit betekent dat doormiddel van de programmatische aanpak per project Witteveen + Bos een besparing van 80% zal hebben bij een voorontwerp van 5 weken. De reden waarom de traditionele methode zo lang duurt, is de afstemming met de verschillende raakvlakken. Het ontwerpproces is een constante stroom van afstemming en het kost tijd om de verschillende raakvlakken af te stemmen. In het stadium van een voorontwerp kunnen de wensen en eisen van de opdrachtgever veranderen. De besparing in de tijd komt dus doordat de gehele aanpak door één persoon kan worden verricht en vergt niet veel tijd om een aanpassing te maken.

8.6 Kwaliteit programmatische aanpak

Functionaliteit

Het kwaliteitsaspect functionaliteit wijst erop dat goed wordt nagedacht over de functies van het systeem. Een belangrijk onderdeel hiervoor is het in kaart brengen van de verschillende eisen en randvoorwaarden, wat de resultaat is van de benodigde functionaliteit van verschillende stakeholders. Dit betekent dat voor het programmatisch ontwerp een focus is gelegd op de functies van de ophaalbrug. Deze functies zijn uitgedrukt in eisen en deze eisen zijn maatgevend voor het ontwerp. De programmatische aanpak is zo opgebouwd dat de eerste stap het invoeren van de functie-eisen is. Zo wordt gegarandeerd dat de functies van de ophaalbrug gehandhaafd blijven.

Dankzij de programmatische aanpak kunnen aanpassingen in de gestelde eisen snel worden door verwerkt in het model. Zo kan bijvoorbeeld al heel snel een ontwerp met een breder val worden ontwikkeld. Volgens Systems Engineering staat de klant tijdens de hele levenscyclus van het systeem centraal. Echter staan de wensen van de klant het meest open tijdens de concept- en ontwikkelingsfase. Aan het eind van de ontwikkelingsfase is het ontwerp voor het hele systeem afgerond. In deze fases is de communicatie cruciaal. Tussen de verschillende partijen kan miscommunicatie ontstaan (zie Figuur 31). Dit leidt tot menselijke fouten en een lagere kwaliteit van het product.



Figuur 31 De schommel (Stuurgroep 4P, 2007)

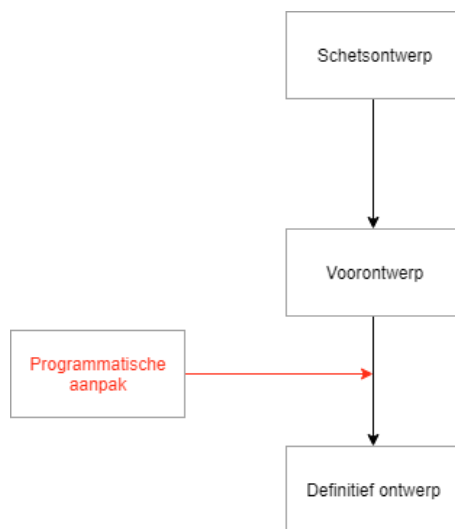
Onderhoudbaarheid

Het principe van de programmatische aanpak is om een modulair ontwerp op te bouwen in tegenstelling tot een parametrisch ontwerp. Zoals is beschreven in de literatuurstudie over de programmatische aanpak (zie bijlage 2), geeft een modulair ontwerp de mogelijkheid tot standaardisatie in de bouw. Alhoewel de kosteneffectiviteit voor de onderhoudbaarheid niet aantoonbaar is verhoogd omdat bij onderhoud meer komt kijken dan alleen het ontwerp. Er kan gesteld worden dat deze programmatische aanpak de eerste stap is om tot een verhoogde kosteneffectiviteit voor het onderhoud dat resultaat te komen.

Vergelijking met een traditioneel voorontwerp

De programmatische aanpak kan pas toegepast worden wanneer men weet dat een ophaalbrug wordt toegepast. Het detail niveau is echter nog niet op het niveau van een definitief ontwerp. Daarom wordt de kwaliteit van de programmatische aanpak vergeleken met een traditioneel voorontwerp. De programmatische aanpak zit tussen het voorontwerp en definitief ontwerp in (zie Figuur 32).

Een traditioneel voorontwerp heeft slechts grove afmetingen en de berekeningen zijn nog niet afgerond. In deze fase kan nog veel aan het ontwerp veranderen dus het detail niveau is laag. Een voorontwerp voor een ophaalbrug heeft bijvoorbeeld de overspanningslengte en dek dikte al concreet. Maar bij de andere onderdelen zoals de hameistijl en balanspriem zitten nog vele vraagtekens. Bij de programmatische aanpak zijn alle benodigde afmetingen al bepaald. Zowel de globale afmetingen van de brug als de doorsnedes van elk onderdeel. Dit is bereikt doormiddel van toetsing met de Eurocode. De programmatische aanpak zorgt niet alleen voor een snel eindproduct, maar ook voor een verhoogde kwaliteit in een vroeg stadium.



Figuur 32 Positie van de programmatische aanpak in het ontwerpproces (Haddouti, Eigen werk, 2018)

Ruimtebeslag

Wat van belang is voor de opdrachtgever is hoeveel ruimte de ophaalbrug zal innemen. Aangezien bij een voorontwerp de afmetingen van de brug nog niet helemaal duidelijk zijn, kan lastig de benodigde ruimte worden bepaald. Met de programmatische aanpak is het ruimtebeslag veel sneller en nauwkeuriger bepaald. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld bepaalde vergunningen eerder worden aangevraagd en levert hiermee een versnellingsmogelijkheid in de planning.

9

CONCLUSIE

9.1 Hoofdvraag

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de onderzoeksvraag:

“Hoe kan een programmatische aanpak voor het ontwerpen van ophaalbruggen ontwikkeld worden, zodat dit leidt tot een hogere kosteneffectiviteit ten opzichte van de huidige methode?”

9.2 Antwoord op de hoofdvraag

Uit de getroffen resultaten kan voor het onderzoek naar een programmatische aanpak de volgende conclusie worden getrokken:

“Excel is een krachtige software die de koppeling tussen andere verschillende software eenvoudig maakt. Dankzij de automatisering van Excel, RFEM en Dynamo kan een eisen-gestuurd, programmatische aanpak ontwikkeld worden met als eindresultaat een constructief getoetst 3d model. Dit bespaart veel kosten tot wel 80% ten opzichte van de huidige methode. Uit de vergelijking met de kosten en de kwaliteitsanalyse volgt dat de programmatische aanpak niet onder kwaliteitsverlies lijdt vergeleken met de huidige methode. De kwaliteit is juist omhoog gegaan. Met besparing van 80% en een kwaliteitsniveau tussen voorontwerp en definitief ontwerp in, heeft de programmatische aanpak zeker voor een verbeterde kosteneffectiviteit gezorgd.”

9.3 Aanbevelingen

Verhoogd detailniveau en verdere automatisering

De kosteneffectiviteit is in de huidige versie van het programmatische aanpak al verhoogd. Echter is het mogelijk om de programmatische aanpak verder door te ontwikkelen waardoor de kosteneffectiviteit verder zal gaan toenemen. In de toekomst kan de aanpak verder worden uitgewerkt tot aan Definitief Ontwerp-niveau, wat veel meer tijd en geld gaat besparen. Verder zou het huidige proces van 3 dagen kunnen worden versneld door de koppeling tussen Excel, Dynamo en RFEM te automatiseren doormiddel van programmeren. Zo zou de ideale situatie zijn dat men slechts de benodigde eisen invult en daaruit alle voorgaande handwerk automatisch wordt gedaan. Dit geeft de mogelijkheid om sneller iteratiestappen uit te voeren. Indien de iteratiestappen zijn geautomatiseerd en alleen de eisen als invoerwaarden overblijven, kan de klant betrokkenheid groeien door bijvoorbeeld een online tool op een website. Zo kan de klant zelf de ideale ophaalbrug ontwikkelen aan de hand van de gestelde eisen. De programmatische aanpak opent ook de deur om de kosten aan het ontwerp te binden. Zo zal de benodigde kosten in de ontwerpfase scherper worden, wat meer inzicht kan geven voor de uitvoerders.

Uitbreiding naar andere disciplines en raakvlakken

Momenteel is de programmatische aanpak alleen toegepast op de bovenbouw van ophaalbruggen. Hieruit kan natuurlijk verder worden gestreefd naar een programmatische aanpak van andere beweegbare bruggen met ook een oog naar andere disciplines zoals de werktuigbouwkunde, wegontwerp en vormgeving.

Modulair bouwen

Daarnaast kan zoals vermeld in de literatuurstudie over de programmatische aanpak (bijlage 2), kan de programmatische aanpak als opzet gezien worden voor modulair bouwen. Dankzij de standaardafmetingen van het programmatisch ontwerp, kunnen geprefabriceerde onderdelen voor ophaalbruggen worden gemaakt. Indien bijvoorbeeld een onderdeel op meerdere bruggen kan worden toegepast, kan dit geld en materiaal besparen. Al deze mogelijkheden dragen bij aan een verhoogde kosteneffectiviteit.

10

BIBLIOGRAFIE

- CROW. (2018, 02 19). Handboek Wegontwerp. Ede, Gelderland, Nederland.
- Economisch Instituut voor de Bouw. (2017). *Bouwstenen voor beweegbare bruggen; verkenning maatschappelijke kosten en baten*. Amsterdam: Stichting Economisch Instituut voor de Bouw.
- Haddouti, M. (2018). Eigen werk. *Eigen werk*.
- Haddouti, M., & Petersen, F. (2018). Eigen werk. *Eigen werk*.
- ipv Delft. (2010). *De Derde Brug Abcoude*. Opgehaald van ipv Delft creatieve ingenieurs:
<http://ipvdelft.nl/portfolio-item/de-derde-brug-abcoude/>
- Nederlands Normalisatie-instituut. (2011). *NEN-EN 1990 + NB; grondslagen van het constructief ontwerp*. Delft: NEN.
- Oosterhoff, J. (1999). *Bruggen in Nederland 1800 - 1940 (beweegbare bruggen)*. Uitgeverij Matrijs.
- Petersen, F. (2018). Eigen werk. *Eigen werk*.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Richtlijnen Vaarwegen*. Utrecht: Rijkswaterstaat WVL.
- Stuurgroep 4P. (2007). *Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector*. LeidraadSE.
- Wienik Mulder, J. B. (2012). *Design for maintenance*. Enchede: University of Twente.

10.1 Eurocode

Norm code	Titel
NEN-EN 1990+A1+A1/C2	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB	Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2
NEN-EN 1991-1-4+A1+C2	Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting
NEN-EN 1991-1-4+A1+C2/NB	Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2
NEN-EN 1991-1-5:2003+C1	Belastingen op constructies – Deel 1-5: Algemene belastingen - Thermische belasting
NEN-EN 1991-1-5:2003+C1/NB	Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-5:2003+C1
NEN 6786-1	Voorschriften voor het ontwerp van beweegbare delen van kunstwerken - Deel 1: Beweegbare bruggen (VOBB)

BIJLAGE

1. Literatuurstudie Kosteneffectiviteit
2. Literatuurstudie Programmatische aanpak
3. Literatuurstudie Ophaalbruggen
4. Toelichting programmatische aanpak
5. Werkwijze programmatische aanpak – Het val
6. Werkwijze programmatische aanpak – Overige onderdelen
7. Stappenplan programmatische aanpak
8. Dynamo script
9. Planning opbouw programmatische aanpak
10. Planning toepassing programmatische aanpak
11. Planning toepassing huidige methode
12. Planning vergelijking tussen programmatisch en huidig